

TUGAS AKHIR
(OE 1701)

ANALISA DINAMIS TERHADAP INTERAKSI SISTEM
FLUIDA-STRUKTUR-TANAH PADA STRUKTUR GRAVITASI
BERBENTUK SILINDER TEGAK AKIBAT BEBAN GELOMBANG



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	12 - 7 - 2000
Terima Dari	H.
No. Agenda Prp.	21 - 878

RSke
627.98
Sar
a-1
1998

oleh :

AGUNG SARJONO

4393100010

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA, 1998



ANALISA DINAMIS TERHADAP INTERAKSI SISTEM
FLUIDA-STRUKTUR-TANAH PADA STRUKTUR GRAVITASI
BERBENTUK SILINDER TEGAK AKIBAT BEBAN GELOMBANG

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat untuk

Menyelesaikan Studi Program Sarjana

pada

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

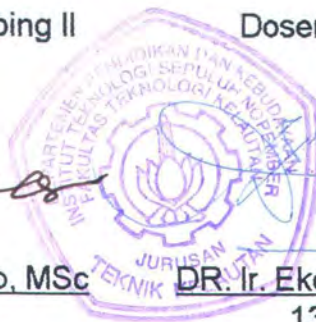
Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing I


DR. Ir Prijo Suprobo, MSc

131 415 622




DR. Ir. Eko Budi Djatimiko, MSc

131 407 592

ABSTRAK

Objek permasalahan dalam TA ini adalah struktur meletak berbentuk silinder tegak yang terbenam sebagian. Dalam TA ini akan disusun dan diselesaikan persamaan karakteristik gerakan dari sistem yang terdiri dari fluida-struktur-tanah. Struktur gravitasi memiliki karakteristik dimensi dan massa yang besar, hal ini akan berimplikasi kepada metode perhitungan beban gelombang dan pemodelan sistem struktur-tanah. Besarnya dimensi struktur menyebabkan terjadinya fenomena gelombang difraksi, dan signifikansi pada mekanisme redaman dan kekakuan tanah. Penyelesaian persamaan gerak akan menunjukkan perilaku dinamis sistem, sehingga dalam perancangan praktis akan berguna untuk peningkatan informasi dari analisa statis; oleh karena itu dapat dijadikan acuan pertimbangan untuk langkah perancangan selanjutnya.

Dalam TA ini disusun program komputasi untuk mengidentifikasi perilaku dinamis sistem dalam domain waktu. Beban eksitasi gelombang dihitung menggunakan teori difraksi, sedangkan komponen redaman dan kekakuan tanah dihitung menggunakan prinsip tanah dinamis. Struktur selanjutnya dimodelkan dalam sistem parameter lumped, yang mengijinkan gerakan sliding dan rocking, serta displasemen diperoleh dengan penyelesaian persamaan diferensial linier tingkat dua. Data masukan yang dibutuhkan dalam komputasi antara lain adalah dimensi struktur, massa struktur, data lingkungan laut dan data tanah. Verifikasi terhadap program yang disusun telah dilakukan dengan menggunakan data yang berasal referensi sebagai data verifikasi.

Dari hasil komputasi terhadap data kasus diperoleh informasi bahwa struktur memiliki frekuensi natural sliding murni sebesar 1.4 Hz dan rocking murni sebesar 0.94 Hz. Sedangkan dalam peninjauan untuk kondisi kopel sliding dan rocking, diperoleh frekuensi natural primer dan sekunder, masing-masing sebesar 0.05 Hz dan 2.7 Hz. Mengacu pada kondisi gelombang perancangan sebesar $H = 14.75\text{m}$, displasmen sliding dan rocking maksimal yang terjadi pada titik berat struktur, untuk gerakan tanpa kopel, diperoleh sebesar 0.006 m dan 0.001 rad, sedangkan untuk gerakan kopel adalah sebesar 0.04 m dan 0.0007 rad. Dari hasil analisa statis pada kasus diperoleh informasi bahwa terjadi penurunan tanah seketika oleh tekanan massa struktur sebesar 0.1m serta struktur memiliki kesetabilan yang baik terhadap gaya geser kritis dan moment guling kritis.

Pengkajian di atas kemudian dilanjutkan dengan studi parameter perilaku dinamis struktur dengan mengamati pengaruh perubahan-perubahan dari parameter karakteristik gelombang dan properti tanah. Dari hasil studi parameter karakteristik gelombang diperoleh kesimpulan bahwa untuk tinggi gelombang kecil kenaikan periode gelombang sebesar 50% dapat menyebabkan pembesaran amplitudo gerakan kopel di bagian puncak struktur sebesar 289%. Sedangkan untuk tinggi gelombang besar kenaikan periode gelombang sebesar 87.5% menyebabkan pembesaran amplitudo kopel di puncak struktur sebesar 84% Dari hasil studi parameter

tanah terhadap kasus dalam TA ini; disimpulkan bahwa perilaku dinamis struktur tidak banyak dipengaruhi oleh angka poisson; sedangkan koefisien subgrade memberikan pengaruh yang signifikan. Hal ini disebabkan karena karakteristik dimensi dan massa struktur yang besar. Kenaikan parameter angka poisson sebesar 66% menyebabkan variasi amplitudo kopel puncak struktur sebesar 0.03% dan penurunan frekuensi sebesar 1.45%. Sedangkan pada parameter koefisien subgrade kenaikan koefisien subgrade sebesar 233% akan menyebabkan penurunan amplitudo kopel di puncak struktur sebesar 70% serta akan menyebabkan peningkatan frekuensi natural sebesar 82%.

Kata Pengantar

Puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Ilahi yang mencipta dan memiliki langit, bumi dan waktu; kecantikan-debu-debu tanah dan rahasia; kondisi negara 1999; ITS beserta dosen-dosennya; semangat, penyakit dan kesempatan; yang kesemuanya telah mengkondisikan saya.

Ucapan terimakasih wajib penulis ucapkan kepada manusia atas energi yang diberikan, terutama yang ada di Surabaya, Jakarta, Bandung dan Yogya, akan saya wakikan kepada

- Keluarga saya yang hidup, dekat, jauh dan mati;
- Seluruh teman seperjuangan khususnya yang saat ini tinggal di Keputih, Gebang dan angkatan 92, 9-bawah, yang pernah dan mau saya repotkan;
- Dosen teknik Kelautan ITS utamanya Pak Eko, Pak Daniel, Pak Pratikto, Pak Tarigan, Pak Paul, Pak Arief, Pak Yusuf, Pak Joswan, Pak Vincent, Pak Solichin dan karyawannya (Pak Pri, Pak Teguh dan Cak No);
- Dosen teknik Sipil ITS yaitu Pak Probo, Pak Ananta, Pak Indra, Bu Noor, Pak Rake dan karyawannya.
- karyawan perpustakaan FTK dan perpustakaan ITS
- dokter Nunuk di Keputih, wanita kelautan (93,94,95,97) dan elektro(K) serta N di Rasuna.

TA yang merupakan akumulasi energi saya, disamping orang-orang yang telah membantu saya ini, pasti mengandung kecerobohan. Maka sebagai manusia yang sedang mencoba, dimana, kapanpun dan untuk segala masalah yang berkaitan dengan saya, saya membuka diri untuk apresiasi dari segala makhluk.

Semoga seluruh makhluk dapat memanfaatkan debu-debu tanah untuk kebenaran dunia dan ketentraman akhir dunia.

Wassalam
Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
Abstrak	
Kata pengantar	i
Daftar Isi	ii
Daftar Gambar	iv
Daftar tabel	v
Daftar Notasi	vi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Pengertian Masalah	1
1.2 Batasan Masalah dan Asumsi Permasalahan	3
1.3 Tujuan	5
1.4 Metodologi	5
1.5 Tentang Struktur Gravitasi	6
II LANDASAN PEMIKIRAN	11
2.1 ANALISA STRUKTUR	11
2.1.1 Tinjauan Persamaan Gerak	13
2.1.2 Penyelesaian Persamaan Gerak	18
2.1.3 Frekuensi Natural dan Gerakan Kopel	23
2.2 TINJAUAN MEKANIKA FLUIDA	27
2.2.1 Persamaan Kontinuitas	27
2.2.2 Persamaan Laplace	29
2.2.3 Persamaan Fluida Tanpa Gesekan	30
2.2.4 Persamaan Bernouli	31
2.2.5 Persamaan Gelombang Linier	32
2.3 TINJAUAN BEBAN GELOMBANG	34
2.4 TINJAUAN MODEL SISTEM STRUKTUR TANAH	41
2.5 TINJAUAN MEKANIKA TANAH	43
2.6 TINJAUAN TANAH DINAMIS	46
2.6.1 Kekakuan dan Redaman Tanah	47
2.6.2 Perumusan Masa Efektif, Rasio Redaman dan Kekakuan Tanah	50

III PEMODELAN MASALAH DAN PERUMUSAN PROGRAM	52
3.1 Pemodelan Sistem Struktur	53
3.2 Tinjauan Program Komputer	57
3.2.1 Program Grav 13.for	58
3.2.2 Konstanta	61
3.2.3 Masukan Program	66
3.2.4 Hasil Program	67
IV VERIFIKASI DAN STUDI PARAMETER	71
4.1 Tinjauan Perbandingan Proses Perhitungan	72
4.2 Verifikasi Program Komputer	74
4.2.1 Data Verifikasi	76
4.2.2 Verifikasi Subprogram	77
4.2.3 Verifikasi Program Utama	79
4.3 Analisa Hasil Verifikasi	80
4.4 Kasus untuk Studi Parameter	80
4.4.1 Studi Parameter dengan Komputasi	80
4.4.2 Variasi Data Parameter	81
4.5 Analisa Hubungan Parameter dengan Variabel Akibat	83
4.6 Catatan Tambahan Tentang Analisa Statis	92
4.6.1 Daya dukung	92
4.6.2 Settlement	93
4.6.3 Kestabilan terhadap Gaya Geser Kritis Statis dan Moment Guling Statis	96
4.6.4 Catatan Pengaruh Getaran terhadap Peralatan dan Manusia	97
V SIMPULAN DAN SARAN	101
5.1 Simpulan	101
5.2 Saran	104
Daftar Pustaka	105

DAFTAR GAMBAR

	halat
1.1 Sketsa permasalahan dan model sistem lumped	4
1.2 Beberapa bagian penting dari dasar-struktur beton lepas pantai	8
2.1 Grafik perilaku gerak akibat variasi redaman	15
2.2 Struktur tertinjau dan model lumpednya	16
2.3 Grafik pembesaran amplitudo dinamis terhadap variabel rasio frekuensi dan rasio redaman	22
2.4 Aliran dan suatu kontrol volume	27
2.5 Velocity potensial gelombang insident dan gelombang scatered	30
2.6 Elastic half space	42
3.1 Sistem struktur dalam lumped parameter	57
3.2 Algoritma program grav13.for	63
3.3 Algoritma program grav13.for	64
3.4 Ukuran dimensi sistem struktur untuk input	66
4.1 Grafik sensitifitas masa efektif tanah dengan angka poison	83
4.2 Grafik sensitifitas rasio redaman dengan angka poison	84
4.3 Grafik sensitifitas amplitudo dengan angka poison	84
4.4 Grafik sensitifitas frekwensi natural dengan angka poison	85
4.5 Grafik sensitifitas kekakuan tanah dengan koefisien subgrade	86
4.6 Grafik sensitifitas amplitudo dengan koefisien subgrade	86
4.7 Grafik sensitifitas frekwensi natural dengan koefisien subgrade	87
4.8 Grafik sensitifitas gaya gelombang dengan periode gelombang, $H=2m$	89
4.9 Grafik sensitifitas gaya gelombang dengan periode gelombang, $H=14.75m$	89
4.10 Grafik sensitifitas amplitudo dengan periode gelombang, $H=2m$	90
4.11 Grafik sensitifitas amplitudo dengan periode gelombang, $H=14.75m$	90
4.12 Grafik untuk menentukan konstanta dalam perhitungan settlement	94
4.13 Klasifikasi daerah getaran	98

DAFTAR TABEL

halaman

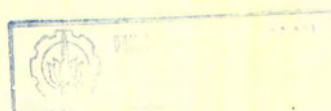
2.1 Perumusan masa efektif tanah (Whitman, 1972)	51
2.2 Perumusan redaman (Whitman, 1972)	51
2.3 Klasifikasi tanah untuk rekomendasi harga Cu (Barkan, 1962)	51
2.4 Perumusan kekakuan tanah (Barkan, 1972)	51
4.1 Perbandingan hasil perhitungan beban gelombang difraksi	78
4.2 Perbandingan hasil properti dinamis	78
4.3 Perbandingan hasil perhitungan komponen persamaan gerak suatu sistem struktur	79
4.4 Perbandingan properti dinamis kasus utama	79
4.5 Variasi data masukan untuk studi parameter properti tanah	82
4.6 Properti gelombang laut	82
4.7 Perhitungan studi parameter angka poison	88
4.8 Perhitungan studi parameter koefisien subgrade terhadap amplitudo	88
4.9 Perhitungan studi parameter koefisien subgrade terhadap amplitudo	88
4.10 Perhitungan studi parameter karakteristik gelombang	91
4.11 Variasi frekuensi dan amplitudo kopel untuk $H=2m$	99
4.12 Variasi frekuensi dan amplitudo kopel untuk $H=14.75m$	99

DAFTAR NOTASI

A	luas permukaan
C	koefisien redaman sistem struktur
Cu	koefisien subgrade tanah
d	kedalaman laut dari permukaan laut
δ	beda fase antara gelombang dengan gaya gelombang
E	modulus elastisitas tanah
F	amplitudo beban eksitasi gelombang
Φ	velocity potensial
F(t)	gaya eksitasi dalam fungsi waktu
γ	rasio inersia sistem
g	gravitasi
G	modulus geser tanah
H	tinggi gelombang
I	inersia sistem struktur dengan memperhitungkan pusat masa sistem
I ₀	inersia sistem struktur tanpa memperhitungkan pusat masa sistem
K	koefisien kekakuan sistem struktur
k	wave number
L _g	jarak antara titik berat sistem struktur dengan puncak struktur
M	masa sistem struktur
M	moment akibat gaya eksitasi gelombang
m	masa sistem struktur
P	tekanan pada fluida
r	rasio frekwensi eksitasi dengan frekwensi natural
ρ	berat jenis fluida
s	jarak antara elevasi muka air dengan dasar laut
u	displacement total yang berasal dari persamaan gerak untuk 1 derajat kebebasan
U	displacement steady state yang berasal dari persamaan gerak 1 derajat kebebasan
u _n	amplitudo kopel untuk puncak struktur
u _r	amplitudo rocking yang telah dikopel
u _x	amplitudo sliding yang telah dikopel
v	angka poisson
Ω atau ω	frekwensi eksitasi
ω_d	frekwensi natural teredam
ω_n	frekwensi natural
ξ atau ζ	rasio redaman



1 PENDAHULUAN



I PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG DAN PENGERTIAN MASALAH

Potensi alam dan kondisi alam yang berada di laut memicu berkembangnya kebutuhan struktur bangunan di laut, yang memiliki ukuran relatif besar dan meletak di dasar laut (gravitasi). Struktur tersebut digunakan untuk fasilitas produksi, eksploitasi, penyimpanan, pemecah gelombang. Konfigurasi struktur laut baik, yang berfungsi sebagai fasilitas produksi ataupun penyimpanan hasil eksploitasi sumber daya laut, yang mungkin dibangun dapat berbentuk silinder tegak.

Masalah pada perancangan struktur gravitasi yang berukuran besar antara lain meliputi beban yang bekerja pada struktur dan karakteristik kekuatan tanah, karena luasnya penampang dasar struktur, dalam menunjang berat struktur.

Pada struktur laut yang relatif kecil seperti jacket, medan gelombang laut (insident wave field) dan karakteristik gelombang dalam interaksinya dengan struktur relatif tidak berubah. Sedang pada struktur ukuran relatif besar terjadi perubahan medan gelombang dan karakteristik gelombang. Baik pada struktur ukuran kecil maupun besar, gelombang akan menimbulkan beban pada struktur yang dapat menimbulkan displasmen baik pada material struktur maupun pada material tanah di dasar struktur.

Difraksi pada gelombang di laut adalah fenomena penyebaran medan-gelombang akibat gelombang insiden dipantulkan benda, sehingga terjadi perubahan karakteristik gelombang. Signifikansi efek difraksi terutama karena viskositas fluida dan ukuran benda.

Untuk mengetahui interaksi karakteristik tanah terhadap struktur struktur meletak (gravitasi) berukuran besar di laut mula-mula dilakukan analisa daya dukung dan settlement. Analisa daya dukung tanah mencakup stabilitas struktur terhadap gaya geser dan moment guling yang ditimbulkan gelombang.

Analisa kemudian dilanjutkan terhadap analisa dinamis akibat beban gelombang. Pertimbangan analisa dinamis didasarkan pada kebutuhan keselamatan seperti pengaruh getaran terhadap manusia, kinerja dan keandalan rancangan (terjadi tidaknya resonansi).

Untuk analisa dinamis mula-mula dilakukan pemodelan sistem fluida-struktur-tanah. Permasalahan ini menekankan pada kondisi tanah yang tidak dapat dianggap rigid. Salah satu pendekatan analisa adalah pemodelan lumped, yaitu dengan menganalog-kan gerak sistem fluida-struktur-tanah sebagai sistem pegas-dashpot-massa inersia.

Tulisan ini didasarkan pada penelitian sebelumnya; untuk beban hidrodinamis pada silinder tegak telah dilakukan oleh Mac camy-Fuchs (1954); sedangkan penelitian tentang perilaku sistem fluida-struktur-tanah (akibat getaran mesin) telah dilakukan oleh D.D. Barkan (1962), Richart-Hall-

Woods (1970), Whitman (1972); dan penelitian tentang sistem fluida-struktur-tanah akibat beban dinamis (gempa, gelombang) telah dilakukan antara lain oleh Nataraja-Kirk (1977), Veletsos-Rice-Boaz (1979), He-Bi-Haritos (1991).

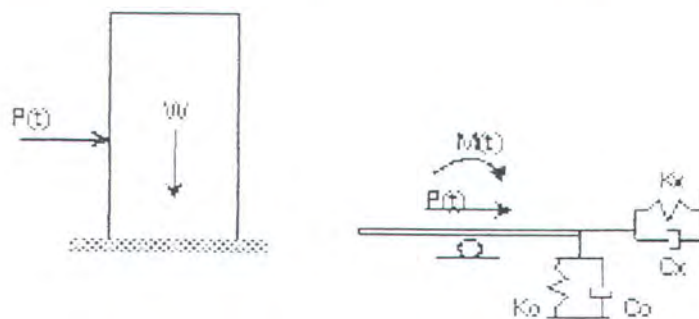
1.2. BATASAN MASALAH DAN ASUMSI PERMASALAHAN

Perilaku sistem struktur diperoleh dari penyelesaian persamaan gerak dalam domain waktu. Dimana persamaan gerak diperoleh dari model parameter lumped yang terdiri dari massa, redaman dan pegas seperti gambar 1.1.

- a. Massa terdiri dari massa struktur, massa tambah fluida serta massa tanah sistem. Massa struktur diperoleh dari data rancangan. Massa tambah fluida dari formulasi struktur berbentuk silinder (Sarpkaya,1981). Sedangkan massa tanah, redaman dan kekakuan tanah menggunakan perumusan dari prinsip pondasi dinamis (Whitman, 1972) dan metode subgrade modulus (Barkan D.D.,1962).
- b. Beban fluida diperoleh dengan teori difraksi untuk silinder tegak (MacCummy-Fuchs, 1954).
- c. Penyelesaian persamaan gerak dengan domain waktu menggunakan penyelesaian persamaan matematika untuk persamaan diferensial linier tingkat dua. Penyusunan dan penyelesaian persamaan gerak ini kemudian dikembangkan ke dalam program komputer fortran. Pemilihan bahasa fortran semata-mata karena kemampuannya mengenali fungsi hiperbolik langsung tanpa pendefinisian lebih lanjut.

d. Dalam menyelesaikan permasalahan dalam TA ini selanjutnya diambil asumsi berikut:

- Struktur yang ditinjau adalah struktur gravitasi yang kaku.
- Struktur yang ditinjau berbentuk silinder tegak.
- Mengabaikan kemungkinan terjadi *liquifaction* pada tanah, yaitu fenomena fasa tanah menyerupai fluida pada tanah tidak kohesi akibat hilangnya kekuatan geser karena tekanan pori pada tanah yang tinggi.
- Struktur yang ditinjau dalam keadaan terbenam dalam air – sebagian dengan dasar struktur di dasat laut meletak.
- Beban yang ditinjau hanya beban gelombang.
- Keberadaan struktur hanya menimbulkan difraksi 'murni' tanpa radiasi.
- Derajat kebebasan tertinjau adalah sliding dan rocking.



Gambar 1.1 sketsa permasalahan dan model sistem lumped

1.3. TUJUAN

Penyelesaian TA ini bertujuan untuk mengembangkan model perilaku sistem fluida struktur tanah dari suatu struktur silinder berukuran besar meletak di dasar laut yang mengalami beban gelombang.

Secara spesifik pembahasan akan mengarah pada perilaku dinamis dari model struktur gravitasi berbentuk silinder tegak yang terbenam sebagian yaitu intensitas frekwensi, displasmen maksimum dari titik berat dan puncak struktur, terjadi tidaknya resonansi serta tingkat keamanan getaran bagi manusia dan permesinan.

Dengan adanya informasi respon dinamis dari sistem fluida-struktur-tanah ini maka akan diperoleh bahan untuk pertimbangan dalam rekayasa struktur gravitasi lepas pantai sebagai peningkatan informasi dari hasil analisa statis.

1.4 METODOLOGI

Pengembangan bahasan tertulis telah dimulai dari pengumpulan kepustakaan yang berhubungan terutama dengan teori; termasuk data lingkungan dan struktur untuk kasus pembahsan. Secara rinci langkah penyelesaian masalah tugas akhir meliputi;

- Mempelajari teori yang mendasari permasalahan seperti, teori beban gelombang, teori pondasi dinamis, teori struktur dinamis, mekanika fluida, mekanika tanah. Hal ini akan dibahas dalam Bab 2.
- Melakukan pemodelan yaitu identifikasi masalah, menentukan tujuan, karakteristik objek (sistem), memilih proses formulasi sesuai karakteristik sistem, menentukan variabel bebas, parameter dan variabel terikat dari sistem. Lebih lanjut mengenai pemodelan akan diuraikan dalam Bab 3.
- Mengembangkan program komputer, grav13.for, untuk mengidentifikasi perilaku dinamis sistem. Hal ini diuraikan dalam Bab 3.
- Melakukan verifikasi program komputer. Hal ini akan diuraikan dalam Bab 4.
- Menentukan perilaku dinamis kasus dalam TA dengan program grav13.for. Hasil analisa ditulis dalam Bab 5 dan lampiran.
- Melakukan studi parameter terhadap data properti tanah dan karakteristik gelombang, dari kasus dalam TA ini dalam bentuk parameter nondimensional dengan melakukan komputasi program grav13.for. Uraian mengenai hal ini terdapat dalam Bab 4.
- Penulisan laporan.

1.5 TENTANG STRUKTUR GRAVITASI

Struktur gravitasi adalah struktur yang kestabilannya menggunakan bidang penampang dasar dari struktur (yang luas) sebagai penahan berat struktur.

Struktur gravitasi telah berhasil digunakan untuk struktur laut sampai mencapai kedalaman 160 m, dengan keadaan properti tanah dasar laut yang bervariasi. Walaupun struktur beton pertama telah diinstalasi tahun 1947, struktur beton baru dipergunakan di dunia minyak lepas pantai tahun 1971, yaitu tanki Ekofisk.

Perbandingan struktur beton dengan struktur baja lepas pantai (Fjeld, 1979) :

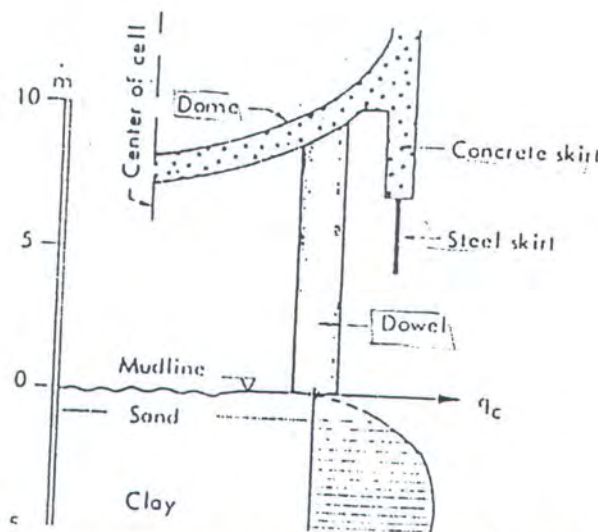
- Struktur beton umumnya memiliki tangki penyimpanan sehingga dalam tahap instalasi dapat digunakan untuk pengapung.
- Tidak bergantung pada penggunaan pile menyebabkan waktu instalasi yang relatif cepat, yang berarti dapat menghemat biaya instalasi
- Dek pada struktur beton sangat luas dan dapat mentoleransi penambahan dan penempatan beban peralatan
- Ruang dalam struktur dapat digunakan untuk penyimpanan minyak
- Material struktur relatif tahan korosi
- Struktur memiliki ketahanan relatif lebih tinggi terhadap ledakan, tumbukan, api.
- Stabilitas struktur beton sangat dipengaruhi oleh properti tanah.
- Desain struktur beton belum memiliki pasar sebanyak desain struktur baja
- Secara umum waktu fabrikasi struktur beton lebih lama dari struktur baja tetapi menggunakan waktu instalasi lebih cepat dari struktur baja;

sehingga Keahlian yang diperlukan untuk membangun striktur beton lebih sederhana.

- Investasi struktur beton relatif tidak mahal (dari struktur baja) dengan memasukan biaya keselamatan, penghematan beberapa biaya operasi, penggabungan beberapa fungsi platform dan biaya perawatan belum termasuk potensi penggunaan ulang struktur di tempat lain.

Bagian-bagian umum struktur gravitasi yang berinteraksi dengan tanah (gambar 1.2).

- dowel
- steel skirt
- concrete skirt
- dome (dasar kaison)



Gambar 1.2 Beberapa bagian penting dari dasar-struktur beton lepas pantai

Fabrikasi dan Instalasi

Dari jenis operasi terdapat 4 fase dasar (Lindgren, 1979)

- konstruksi
- towing
- deck mating
- instalasi

Pada struktur gravitasi fase konstruksi dibagi dua macam menurut tempat pembangunan yaitu pada basin atau dry dock dan pada laut dalam. Sebelum pembangunan di laut dalam dilakukan harus dilakukan operasi towing dan mooring.

Fase konstruksi yang dilakukan di dry-dock mengkhususkan pada bagian kaison. Kaison dirancang dengan sarat rendah agar mendapatkan tahanan yang kecil, tidak mengganggu untuk laut kedalaman rendah.

Fase konstruksi di laut dalam ditujukan untuk pembangunan kaki struktur.

Selain kaison dan kaki struktur, pembangunan dilakukan untuk struktur atas (dek).

Towing dilakukan dari dry dock menuju laut dalam tempat pelaksanaan fase konstruksi lanjutan dan dari laut dalam (tempat pembangunan) menuju lokasi.

Pada towing kedua beberapa hal yang dipertimbangkan antara lain jarak lokasi dari tempat pembangunan, rute, lebar jalur.

Towing menggunakan 3-4 kapal tunda dengan tenaga 5000-10000 HP.

Untuk mengatasi tahanan dilakukan debalast dan pemasangan pengapung tambahan dan penentuan kemungkinan struktur terguling (tilting)

Deck mating yaitu pemasangan struktur atas dengan kaki struktur.

Kemudian dilakukan pengencangan sambungan (hook-up). Tahap ini memerlukan operasi mooring, balast.

Terdapat 2 macam operasi instalasi yaitu instalasi struktur dan instalasi konduktor (saluran menuju resevoir).



membangkai luka
membasuh gunung dan sungai
menopang langit
memikul bumi
memuntahkan kebohongan
membasuh kemarahan
mengasah jiwa
menempa diri
mengumbar semangat
menerima kekalahan dengan sempurna
menghirup kecantikan
didorong taragak-dendam yang abadi
dengan pedang mi'raj yang tak berujung
dalam tiap langkah dan nafas

(Desember 1, 97 - flu tulang, Pandu-wife)

2. LANDASAN PEMIKIRAN

II. LANDASAN PEMIKIRAN

2.1 ANALISA STRUKTUR

Secara sederhana analisa struktur dapat dipisahkan menjadi dua jenis, yaitu analisa statis dan analisa dinamis. Analisa statis meninjau perilaku sistem struktur (displasmen) akibat pembebanan yang karakteristik pembebanannya tidak bervariasi terhadap ruang dan waktu (konstan). Karena pembebanan yang konstan maka akan dihasilkan displasmen yang besarnya konstan. Untuk mengakomodasi beban dinamis, analisa statis akan mengakomodasi faktor keselamatan.

Sedangkan pada analisa dinamis dimungkinkan untuk menganalisa kasus sistem struktur dimana beban yang terjadi mengalami perubahan arah, besar dan titik kerja beban menurut fungsi waktu. Selain itu analisa dinamis memperhitungkan signifikansi inersia dari sistem struktur (harga inersia berpengaruh). Langkah dasar penelitian dinamis terhadap suatu struktur (Craig, 1981) meliputi tiga tahap yaitu

- langkah desain,
- langkah analisa,
- langkah pengujian.

Dalam **langkah desain** ditentukan ukuran dan konfigurasi dari struktur bangunan yang akan dibangun.

Langkah analisa adalah langkah uji metematik dari model matematik perilaku sistem struktur. Langkah ini dapat dibagi menjadi tiga yaitu;

- membuat model analisa,
- membuat model matematika,
- menentukan perilaku dinamis.

Pada struktur yang nyata terdapat banyak titik yang mengalami displasmen dan masing-masing titik memiliki sejumlah derajat kebebasan. Banyaknya jumlah titik dan derajat kebebasan menyebabkan struktur rumit untuk dianalisa. Sehingga perlu dibuat model persoalan agar struktur mudah dianalisa. Dalam pemodelan, sistem strukur disederhanakan dengan asumsi, sehingga terjadi pengurangan titik yang ditinjau dan jumlah derajat kebebasan. Pengurangan jumlah titik yang ditinjau dan jumlah derajat kebebasan harus optimal hingga tetap menghasilkan model strukur yang mewakili perilaku fisik yang signifikan.

Dalam **pemodelan matematika**, dibuat persamaan gerak dari sistem struktur dinamis. Dalam analisa dinamis penyelesaian persamaan gerak menyatakan perilaku gerak sistem struktur (displasmen). Secara matematis karakteristik persamaan gerak akan mengarah kepada penyelesaian persamaan matematis. Karakteristik persamaan gerak dalam analisa struktur dinamis dipengaruhi oleh kondisi pembebanan. Terdapat beberapa kasus pembebanan dinamis yaitu beban harmonis, beban periodik, beban impuls, beban random. Untuk kasus pembebanan harmonis persamaan gerak dapat dianalisa dengan penyelesaian

persamaan diferensial linier tingkat dua. Untuk kasus pembebanan periodik dapat dianalisa dengan transformasi Fourier. Untuk beban impuls dapat dianalisa dengan integrasi Duhamel. Dan untuk beban random dapat dilakukan analisa spektra.

Langkah pengujian adalah pengujian secara fisik dari struktur sesungguhnya atau model struktur. Tahap ini bertujuan untuk mengevaluasi antara hasil uji model fisik dengan hasil analisa matematis. Bila ternyata belum optimal maka perlu dilakukan modifikasi yang artinya harus mengulangi langkah sebelumnya (desain atau analisa). Umumnya langkah dilakukan beberapa kali perulangan langkah untuk mencapai desain optimal.

2.1.1 Tinjauan Persamaan Gerak

Persamaan gerak menyatakan keseimbangan gaya atau moment antara komponen sistem struktur dan beban eksitasi. Komponen sistem struktur terdiri komponen massa, redaman dan pegas. Persamaan gerak ini dapat ditulis seperti pada persamaan 1.

$$M u'' + C u' + K u = F(t) \dots \dots \dots (1)$$

dimana

M= massa sistem

C= redaman sistem

K = kekakuan sistem

u = displasmen atau perpindahan

Gaya inersia (Mu'') adalah gaya yang disebabkan adanya massa benda dan merupakan fungsi percepatan, sesuai hukum Newton II.

Gaya redaman (Cu') adalah gaya yang mengurangi energi kinetik sistem yang terjadi sehingga merupakan fungsi kecepatan. Dengan adanya efek redaman maka amplitudo getaran akan menurun (umumnya).

Dari mekanismenya, redaman dapat dibedakan sebagai berikut (Hurty, 1967)

- redaman struktur atau redaman histerik; akibat gesekan di dalam material atau sambungan elemen.
- redaman viskositas; akibat gesekan dengan fluida
- redaman Coloumb; akibat struktur bergesekan dengan permukaan yang kering
- redaman negatif; akibat akumulasi energi teredam dengan gaya reaksi (yang telah berubah arah lebih cepat dari peredaman).

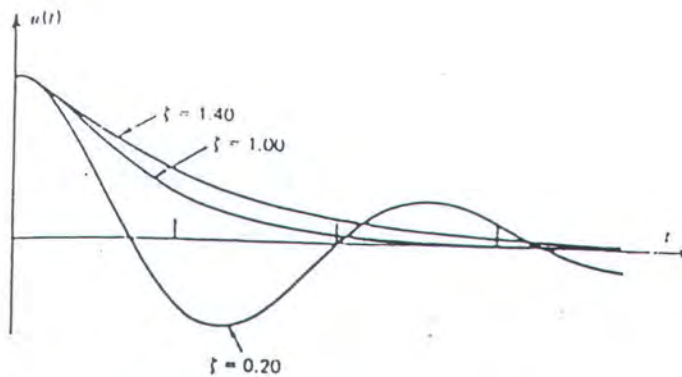
Sedangkan dari harganya terdapat empat kemungkinan harga redaman

- undamped (sistem tidak teredam), $C = 0$
- underdamped (sistem kurang teredam), $0 < C < 1$
- critical damped (sistem teredam kritis), $C = 1$
- overdamped (sistem dengan redaman berlebih), $C > 1$

Harga redaman dapat dinyatakan dalam rasio redaman (ξ)

$$\xi = C / (2(K M))^{0.5} \dots \dots \dots (2)$$

Pada gambar 2.1 digambarkan grafik perilaku gerak akibat variasi harga rasio redaman



Gambar 2.1 Grafik perilaku gerak akibat variasi redaman

Gaya pegas (K_u) adalah gaya yang menunjukkan kemampuan sistem menyimpan energi dan merupakan fungsi displasmen. Artinya bila displacment hilang maka gaya pegas yang bekerja pada sistem juga hilang.

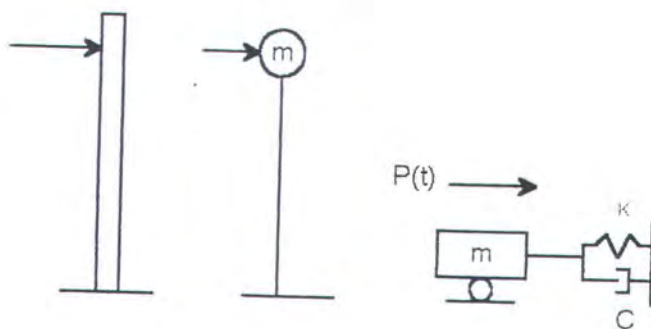
Pada struktur dengan derajat kebebasan tunggal terdapat beberapa macam metode untuk menyusun persamaan gerak yaitu metode newton, metode d'Alembert, metode virtual displacment, metode virtual displasmen dengan mode asumsi (Craig, 1981). Pada metode Newton, d'Alembert dan virtual displaceement, sistem struktur yang ditinjau berupa massa partikel atau massa rigid. Sedangkan pada virtual displasmen dengan moda asumsi, sistem struktur yang ditinjau memiliki massa yang tersebar pada dimensi struktur. Pada metode Newton digunakan prinsip keseimbangan yang menyatakan bahwa jumlah gaya-gaya yang bekerja pada struktur sama dengan massa struktur dikalikan dengan percepatan. Sedangkan pada metode d'Alembert dinyatakan bahwa jumlah gaya pada

struktur sama dengan nol. Metode d'Alembert mengelompokkan gaya inersia sebagai komponen gaya yang bekerja pada struktur sedangkan metode Newton tidak menganggap sebagai komponen gaya dalam struktur secara eksplisit.

Sistem Lumped

Pada analisa struktur yang menggunakan sistem lumped, dilakukan penyederhanaan struktur, yaitu dengan pemusatan massa yaitu pada titik tempat resultan beban. Sehingga displasmen yang dapat dihitung hanya pada titik tempat terjadi pemusatan massa. (gambar 2.2)

Dalam analisa dinamis yang mengakomodasi sistem lumped akan diperoleh displasmen pada titik tempat pemusatan massa yang berfungsi dalam waktu.



Gambar 2.2 Struktur tertinjau dan model lumpednya

Derajat kebebasan

Derajat kebebasan menunjukkan jumlah arah gerakan benda. Arah yang dimaksud bukan merupakan arah paralel atau sebidang tetapi arah yang sejajar dan arah rotasi pada sumbu Kartesius. Sehingga suatu benda maksimal akan memiliki enam derajat kebebasan yaitu ;

- surge yaitu translasi arah-x
- sway yaitu translasi arah-y
- heave yaitu translasi arah-z
- roll yaitu rotasi sumbu-x
- pitch yaitu rotasi sumbu-y
- yaw yaitu rotasi sumbu-z.

Pada struktur dinamis tunggal berpenampang lingkaran gerakan surge dan sway diwakili 1 arah resultan saja dan untuk struktur yang berinteraksi dengan tanah gerakan ini dikenal dengan nama sliding. Begitu juga dengan pitch dan yaw diwakili dengan 1 arah gerakan yang dikenal dengan nama rocking.

Pada pembahasan ini gerakan heave tidak diperhitungkan dan struktur dianggap tidak mengalami rotasi sumbu-z (twisting).

2.1.2 Penyelesaian Persamaan Gerak untuk Derajat Kebebasan

Tunggal

Penyelesaian persamaan gerak menyatakan perilaku gerak sistem struktur yang dinyatakan secara matematis. Terdapat beberapa cara untuk memperoleh penyelesaian persamaan gerak yaitu penyelesaian persamaan gerak diferensial linier tingkat 2, integral Duhamel, Fast Fourier Transform, spectra. Variasi penyelesaian persamaan gerak ini digunakan menurut karakteristik kasus pembebanan sistem struktur.

Ditinjau dari variabelnya terdapat penyelesaian persamaan gerak dengan domain frekuensi dan penyelesaian persamaan gerak dengan domain waktu. Yang digunakan dalam pembahasan ini adalah persamaan gerak dengan domain waktu. Penyelesaian persamaan gerak dengan domain waktu menyatakan perilaku sistem dalam selang waktu tertentu. Sedangkan penyelesaian persamaan gerak dengan domain frekuensi menyatakan perilaku sistem dalam selang frekuensi tertentu. Keuntungan penggunaan domain waktu (Pratikto dan Murdjito, 1995) yaitu

- akurasi terhadap aplikasi parameter yang non-linier (vortex shedding, wave canceling effect)
- dapat menganalisa keadaan transient untuk kondisi ekstrem
- hasil perhitungan dapat digunakan untuk data statistik; seperti probabilitas beban-waktu.

Kekurangannya adalah penggunaan memori komputer yang besar.

Dalam teori terdapat beberapa kasus yang dapat terjadi pada suatu sistem struktur yaitu

- gerak bebas tak teredam yaitu $F(t) = 0$, $C=0$
- gerak bebas teredam yaitu $F(t) = 0$, terdapat C
- gerak tereksitasi tak teredam yaitu terdapat $F(t)$, $C=0$
- gerak tereksitasi teredam yaitu terdapat $F(t)$ dan C

Kasus sistem struktur yang ditinjau dalam bahasan ini adalah gerakan tereksitasi (oleh gelombang laut) yang teredam (oleh tanah).

Dalam permasalahan sistem struktur tanah yang akan dibahas ini M merupakan jumlah dari massa struktur, massa tambah fluida dan massa tanah yang berinteraksi.

$$M \text{ total sistem} = m \text{ struktur} + m \text{ tambah (fluida)} + m \text{ (tanah)} \dots\dots(3)$$

C dan K merupakan harga redaman tanah dan kekakuan tanah, dan $F(t)$ merupakan resultan gaya atau moment dari hasil perhitungan beban gelombang.

Dalam dinamika penyelesaian matematis merupakan displasmen yang diperoleh dari penjumlahan antara displacement akibat getaran bebas dan displasmen akibat eksitasi.

Displasmen getaran bebas atau gerakan alami yaitu displasmen yang terjadi pada suatu sistem struktur dinamis akibat beban statis yang setelah menimbulkan simpangan dihilangkan. Pada sistem struktur disini adanya

redaman membuat simpangan akibat getaran bebas makin lama makin kecil.

Displasmen getaran tereksitasi yaitu displasmen yang terjadi pada suatu sistem struktur dinamis akibat beban dinamis yang terus menimbulkan simpangan.

Pada sistem struktur yang dibahas ini, displasmen yang terjadi merupakan penjumlahan akibat interaksi 2 derajat kebebasan. Secara matematis persamaan gerak sistem struktur teredam merupakan persamaan diferensial linier tingkat 2 .

Maka penyelesaian matematis persamaan ini adalah :

$$u = u_c + u_p$$

$$u_c = \text{penyelesaian komplementer}$$

$$u_p = \text{penyelesaian partikuler}$$

Pada persamaan gerak penyelesaian komplemen merupakan gerakan tereksitasi dan penyelesaian partikuler merupakan gerakan alami

Penyelesaian persamaan gerak (displasmen) adalah sebagai berikut;

$$u = U \cos (\omega t - \alpha) + e^{-\xi \omega_n t} (A_1 \cos \omega_d t + A_2 \sin \omega_d t) \dots \dots \dots (4)$$

dimana,

$$U = U_0 / ((1-r^2)^2 + (2\xi r)^2)^{0.5}$$

$$U_0 = P / k$$

$$r = \omega / \omega_n$$

$$\omega_n = (k / m)^{0.5}$$

$$\omega_d = \omega_n (1 - \xi^2)^{0.5}$$

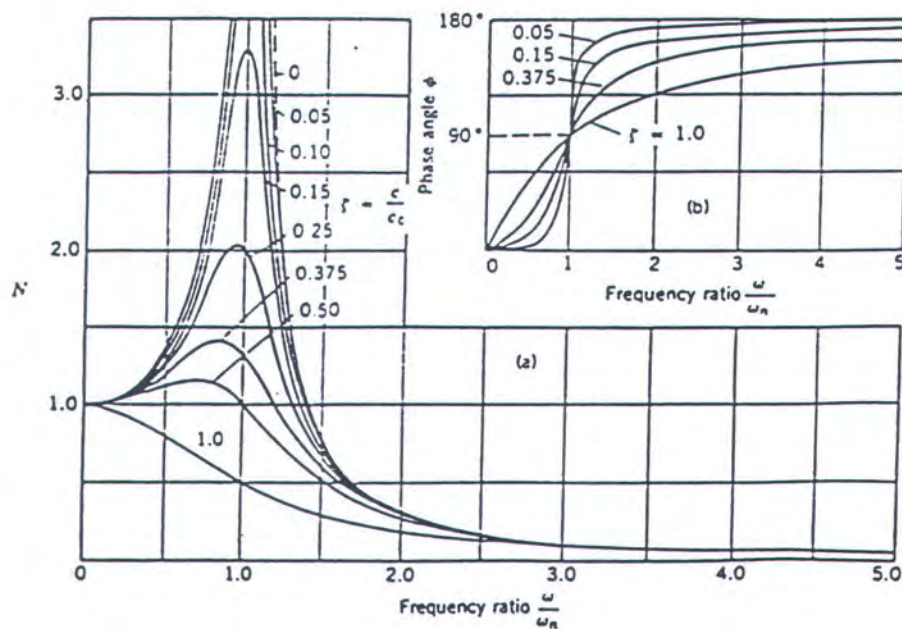
A1 dan A2 didapatkan dengan memasukkan kondisi awal displacement dan kecepatan. A1 dan A2 merupakan amplitudo getaran bebas. Penyelesaian persamaan gerak ini hanya berlaku untuk gerakan dengan satu derajat kebebasan.

Terdapat beberapa properti dinamis yang menyusun harga displasmen yaitu

- frekuensi natural yaitu frekuensi gerakan struktur pada getaran bebas tak teredam
- frekuensi teredam yaitu frekuensi gerakan struktur pada getaran bebas teredam
- redaman kritis adalah harga minimal redaman yang dapat diselesaikan secara matematis dari penyelesaian persamaan karakteristik dari persamaan gerak
- rasio redaman adalah perbandingan redaman struktur dengan redaman kritis.
- faktor pembesaran amplitudo adalah rasio amplitudo dinamis dengan amplitudo statis.

Resonansi adalah kondisi dimana frekuensi natural struktur memiliki harga yang sama dengan frekuensi beban dinamis. Adanya resonansi sangat mempengaruhi tujuan perancangan struktur dinamis, yaitu secara langsung akan mempengaruhi amplitudo.

Amplitudo steady state (dalam persamaan 4) memiliki relasi berbanding terbalik dengan rasio frekuensi dan rasio redaman. Bila suatu struktur yang memiliki redaman yang kecil (mendekati nol) mengalami resonansi; secara matematis harga amplitudo yang terjadi dalam sistem struktur, akan mengalami pembesaran. Amplitudo yang terjadi merupakan pembesaran dari 'amplitudo statis'. Dalam gambar 2.3 dapat ditunjukkan bahwa pada struktur yang memiliki redaman sama dengan nol dan terjadi peristiwa resonansi, akan mengalami pembesaran yang tidak terbatas, sehingga struktur akan rubuh.



Gambar 2.3 Grafik pembesaran amplitudo dinamis terhadap variabel rasio frekuensi dan rasio redaman.

2.1.3 Frekuensi Natural dan Gerakan Kopel

Frekuensi natural adalah angka yang menyatakan jumlah getaran alami yang dilakukan benda elastis dalam satu detik. Nilai getaran sama dengan satu bila benda telah selesai melakukan pola lintasannya.

Suatu struktur yang dimodelkan dengan n-derajat kebebasan akan memiliki n-frekuensi natural dan akan menghasilkan n-persamaan gerak. Dari beberapa persamaan gerak ini dapat disusun dalam matriks persamaan gerak. Frekuensi-frekuensi natural (tidak teredam) dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan dari determinan matriks frekuensi.

$$| -\omega_n^2 M + K | = 0 \dots\dots\dots(5)$$

Untuk kasus 1 masa lumped dua derajat kebebasan komponen massa dan kekakuan dapat dinyatakan dalam matriks berikut

$$M = \begin{bmatrix} M_x & 0 \\ 0 & M_r \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} K_x & -L_g K_x \\ -L_g K_x & L_g^2 K_x + K_r \end{bmatrix}$$

Sehingga persamaan determinan matriks frekwensi adalah :

$$M_x M_r \omega_n^4 - (M_r K_x + M_x K_r + M_x K_x L_g^2) \omega_n^2 + K_r K_x = 0$$

Dan frekwensi natural tidak teredam (ω_n) diperoleh dengan mengakar kwadrat ω_n^2 , dimana ω_n^2 diperoleh dari hasil penyelesaian persamaan kwadrat.

Gerakan kopel adalah gerakan dari titik-titik dalam sistem struktur yang saling berinteraksi. Karena interaksi ini maka besar displasmen dari titik pada sistem kopel tidak sama bila dibandingkan dengan displacement pada sistem yang memiliki derajat kebebasan tunggal (pure sliding, pure rocking). Pada pemodelan lumped dua dimensi terdapat dua bentuk pemodelan dasar struktur yaitu

- struktur dengan beberapa massa dengan satu arah gerakan atau
- satu massa dengan kombinasi derajat kebebasan (translasi dan rotasi)

Dari kedua macam kondisi gerakan ini akan diperoleh beberapa persamaan gerak. Sedangkan struktur dalam tugas ini dimodelkan sebagai satu massa dengan dua gerakan.

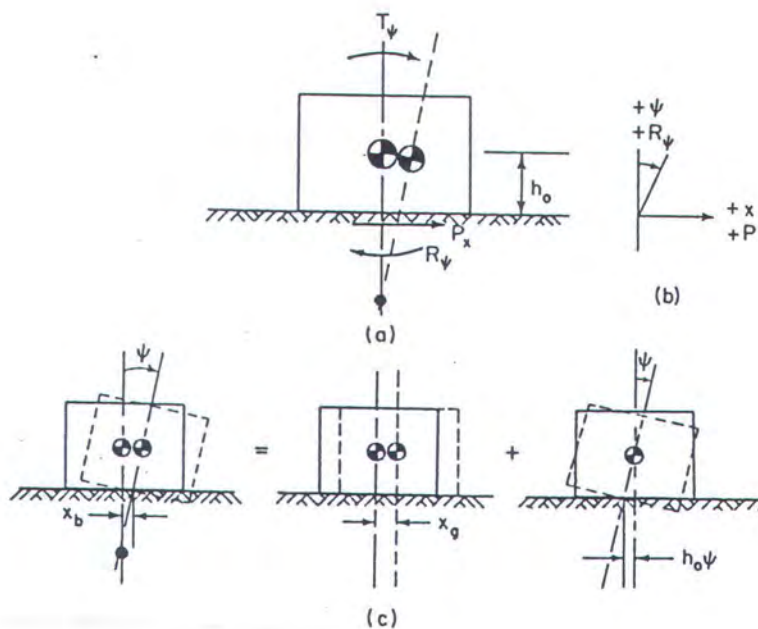
Dalam analisa dinamis pondasi mesin, amplitudo kopel dari kasus beban eksitasi dapat dibedakan menjadi tiga yaitu

- amplitudo eksitasi akibat gaya eksitasi translasi
- amplitudo eksitasi akibat moment (eksitasi sudut)
- amplitudo akibat eksitasi gaya eksitasi dan moment

Pada sistem struktur yang dibahas dalam tugas ini beban gelombang merupakan gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan kopel angular. Amplitudo kopel pada kasus struktur dalam TA ini adalah amplitudo titik berat struktur.

Bila struktur rigid yang tinggi mengalami gerakan kopel maka amplitudo titik yang akan ditinjau merupakan jumlah amplitudo sliding, yang telah dikopel, dengan proyeksi amplitudo angular, yang telah dikopel,

terhadap jarak vertikal antara titik berat dengan titik tinjauan (gambar 2.4). Dari pemodelan lumped akan diperoleh displasmen pada titik berat sistem struktur. Dengan mengambil asumsi bahwa struktur rigid, akan diperoleh dua titik tinjauan tambahan yaitu pada puncak dan dasar struktur yang segaris dengan sumbu silinder (bentuk struktur).



Gambar 2.4 Gerakan kopel dengan 1 massa pada suatu struktur

Amplitudo kopel pada puncak struktur adalah

$$u_n = u_x + u_r (H-L_g) \dots \dots \dots (6)$$

u_x = amplitudo sliding yang telah dikopel

u_r = amplitudo rocking yang telah dikopel

L_g = jarak titik berat ke dasar struktur

H = tinggi struktur



Amplitudo kopel pada dasar struktur adalah

$$u_n = u_x - u_r (L_g) \dots \dots \dots (7)$$

$$u_x = \frac{F}{m \omega^2} \frac{[(1 - \gamma \omega^2 + \zeta_0^2 \omega^4 + \zeta_0^2 \omega^2)^2 - 4 \omega^2 (\zeta_0^2 \sqrt{\gamma \omega^2} + \zeta_0^2 \sqrt{\gamma \omega^2})^2]^{0.5}}{\Delta(\omega^2)} \dots \dots \dots (8)$$

$$u_r = \frac{F \zeta_0 \omega_{nx} (\omega_{nx}^2 + 4 \zeta_0^2 \omega^2)^{0.5}}{\Delta(\omega^2)} \dots \dots \dots (9)$$

dengan

$$\Delta(\omega^2) = [(\omega^4 - \omega^2 \{ \frac{\omega_{nx}^2 + \omega_{nz}^2}{\gamma} - \frac{4 \zeta_0^2 \omega_{nx} \omega_{nz}}{\gamma} \} + \frac{\omega_{nx}^2 \omega_{nz}^2}{\gamma})^2 - 4 \{ \zeta_0^2 \frac{\omega_{nx} \omega}{\gamma} (\omega_{nx}^2 - \omega^2) - \zeta_0^2 \frac{\omega_{nz} \omega}{\gamma} (\omega_{nz}^2 - \omega^2) \}^2]^{0.5}$$

F=gaya eksitasi

m = massa sistem struktur

lo= moment inersia sistem struktur tanpa memperhitungan pusat massa sistem

I = moment inersia sistem struktur dengan memperhitungkan pusat massa sistem

ω = frekuensi sudut eksitasi

$\gamma = lo / I$

Amplitudo kopel pada persamaan 6, 7 dan 8 hanya menyatakan amplitudo dari keadaan steady state. Sehingga dengan menggunakan analisa pondasi mesin tidak diperoleh keadaan transient dan beda fase pada sistem struktur kopel.

2.2 TINJAUAN MEKANIKA FLUIDA

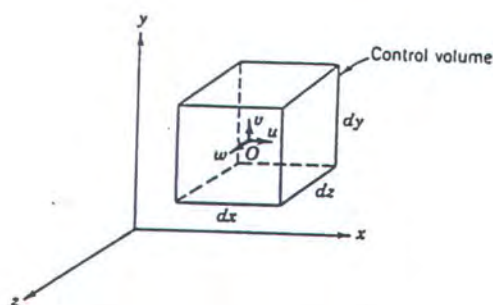
Permasalahan dalam TA ini ditimbulkan aliran fluida, yang berbentuk gelombang, yang kemudian berinteraksi dengan struktur. Pada subbab ini akan diuraikan dengan singkat perumusan matematis yang menopang teori gelombang yaitu persamaan kontinuitas, persamaan Laplace, persamaan Euler's, persamaan Bernoulli dan teori gelombang linier.

2.2.1 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas digunakan untuk memperoleh hubungan kecepatan, densitas sebagai fungsi ruang dan waktu. Persamaan kontinuitas didasarkan pada teori konservasi massa yang menyatakan bahwa

jumlah massa netto fluida, yang masuk ke dalam suatu kontrol volume, dengan perubahan rata-rata massa (dalam waktu-sesaat) dalam kontrol volume = 0.

Kontrol volume adalah volume elemen fluida yang dinyatakan dalam dx dy dz (gambar 2.5).



Gambar 2.5 Aliran dan suatu kontrol volume

Massa netto fluida diperoleh dengan meninjau massa-inflow pada dua sisi penampang sejajar suatu elemen kubus, untuk 1 arah tinjauan (arah x) pada dt detik.

$$\text{massa netto} = \text{massa } (t+dt) - \text{massa } (t) \dots \dots \dots (10)$$

dimana

$$\text{masa}(t + dt) = \rho u \, dy \, dz \, dt + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} dx \, dy \, dz \, dt$$

$$\text{massa } (t) = \rho u \, dy \, dz \, dt$$

sehingga

$$\text{masa netto inflow - x} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} dx \, dy \, dz \, dt$$

$$\text{total masa netto} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} dx \, dy \, dz \, dt + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} dx \, dy \, dz \, dt + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} dx \, dy \, dz \, dt \dots \dots \dots (11)$$

sedangkan perubahan rata-rata arah x =

$$\frac{\partial(\rho)}{\partial t} dx \, dy \, dz \, dt \dots \dots \dots (12)$$

sehingga persamaan kontinuitas

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} dx \, dy \, dz \, dt + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} dx \, dy \, dz \, dt + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} dx \, dy \, dz \, dt + \frac{\partial(\rho)}{\partial t} dx \, dy \, dz \, dt = 0 \\ & = \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} + \frac{\partial(\rho)}{\partial t} = 0 \\ & = u \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + \rho \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} + \rho \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial(\rho)}{\partial t} = 0 \end{aligned}$$

Persamaan kontinuitas kemudian dimodifikasi untuk penggunaan fluida ideal yaitu fluida inviscid dan incompressible. Pada fluida incompressible tidak terjadi perubahan densitas. Fluida inviscid adalah fluida yang hanya memperhitungkan tegangan normal saja karena dianggap tidak memiliki viskositas ($\nu = 0$). Persamaan ideal digunakan agar didapatkan potensial kecepatan yang sederhana.

sehingga persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \dots\dots\dots(13)$$

2.2.2 Persamaan Laplace

Persamaan Laplace adalah persamaan kontinuitas yang dinyatakan dengan velocity potential atau stream function. Velocity potensial adalah fungsi turunan yang kontinyu yang menyatakan gradien potensial harga kecepatan yang searah sumbu Kartesius. Garis imajiner velocity potensial dengan garis imajiner stream function selalu tegak lurus sehingga aliran yang dapat dinyatakan oleh velocity potensial merupakan aliran irrotasional. Aliran irrotasional adalah aliran yang besar kecepatan sudut arah-x dan arah-y sama. Secara grafis maka diagonal partikel fluida ($dx \, dy \, dz$) tidak mengalami perubahan sudut. Hubungan velocity potensial dengan kecepatan adalah sebagai berikut;

$$u = \frac{\partial \Phi}{\partial x}$$

$$v = \frac{\partial \Phi}{\partial y}$$

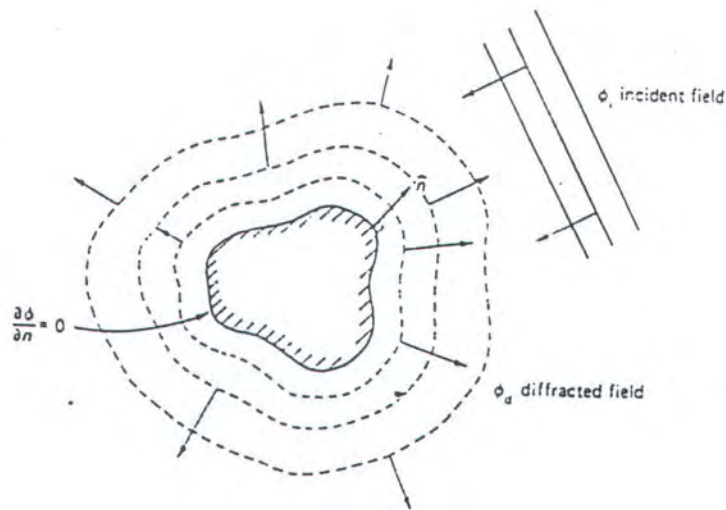
$$w = \frac{\partial \Phi}{\partial z}$$

sehingga persamaan kontinuitas dalam velocity potensial :

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$\nabla^2 = 0$$





Gambar 2.6 Velocity potensial gelombang insident dan scatered

2.2.3 Persamaan Fluida tanpa Gesekan (Persamaan Euler's)

Persamaan Euler's diperoleh dari kesetimbangan gaya sesuai hukum Newton 2 pada elemen fluida $dx dy dz$. Gaya aksi terdiri dari surface force, body force, Sedangkan surface force terdiri dari shear force dan pressure force. Untuk fluida inviscid tegangan geser (τ) = 0

sehingga persamaan kesetimbangan gaya :

$$\text{netto pressure force} + \text{body force} = m \frac{Dv}{Dt}$$

untuk arah-x

$$P dy dz - (P + \frac{\partial P}{\partial x} dx) dy dz + (\rho dx dy dz) X = \rho dx dy dz \frac{Dx}{Dt}$$

sehingga diperoleh persamaan Euler's untuk arah x, y dan z berturut-turut

sebagai berikut;

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + X = \frac{Dx}{Dt} \dots\dots\dots(15.a)$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + Y = \frac{Dy}{Dt} \dots\dots\dots(15.b)$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + Z = \frac{Dz}{Dt} \dots\dots\dots(15.c)$$

2.2.4 Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli didapat dengan mengintegalkan persamaan Euler's yang telah disederhanakan. Beberapa penyederhanaan yang diambil yaitu

- body force yang ada hanya untuk arah z : $-\frac{\partial(\rho z)}{\partial z}$

- untuk kondisi irrotasional : $\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial x}$

- Percepatan arah x : $\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial t} - u \frac{\partial u}{\partial x} - w \frac{\partial u}{\partial z}$

dimana

$$u \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{2} \frac{\partial u^2}{\partial x}$$

$$w \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{1}{2} \frac{\partial w^2}{\partial z}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial t}$$

sehingga dari persamaan Euler's arah-x (15.a):

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - X = \frac{\partial u}{\partial t}$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial t} - \frac{1}{2} \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{\partial w^2}{\partial x}$$

$$= \frac{\partial}{\partial x} \left[-\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} u^2 - \frac{1}{2} w^2 + \frac{p}{\rho} \right] = 0$$

untuk arah-z

$$= \frac{\partial}{\partial z} \left[-\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} u^2 - \frac{1}{2} w^2 + \frac{p}{\rho} + gz \right] = 0 \quad \dots\dots\dots(16)$$

Persamaan Euler's arah z diintegalkan serta menganggap g konstan

didapat

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} u^2 - \frac{1}{2} w^2 - \frac{p}{\rho} + gz = F(t) \quad \dots\dots\dots(17)$$

asumsi persamaan bernoulli :

- aliran steady
- incompressible
- aliran tanpa gesekan

2.2.5 Persamaan Gelombang Linier

Persamaan gelombang linier digunakan karena asumsi yang digunakan sederhana dan untuk mencari elevasi, tekanan fluida (bawah permukaan), kecepatan dapat diselesaikan secara analitis. Karakteristik kesederhanaan teori gelombang linier adalah bahwa velocity potensial gelombang linier memiliki arah rambat dua dimensi.

Pada kelanjutannya teori gelombang linier merupakan dasar teori difraksi yang dikembangkan oleh McCumy-Fuchs untuk menghitung beban gelombang struktur silinder besar.

Asumsi persamaan gelombang linier :

- kedalaman konstant
- viskositas = 0
- fluida dianggap inkompresibel sehingga densitas fluida = konstant
- fluida irrotasional
- memenuhi local inersia term yaitu menganggap tinggi gelombang dianggap 'kecil'.

Kondisi batas yang digunakan untuk penurunan persamaan gelombang linier

- memenuhi kontinuitas persamaan Laplace
- untuk permukaan laut (free surface) yaitu $z = 0$: $\left[\frac{\partial^2}{\partial t^2} + g \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right] = 0$
- untuk dasar (fixed boundary) yaitu $z = -d$: $\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0$

Velocity potensial persamaan gelombang linier

$$\Phi = \frac{\pi H}{kL} \frac{\cosh(k(z-d))}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) \quad \dots\dots\dots(18)$$

atau

$$\Phi = \frac{gH}{2\omega} \frac{\cosh(k(z-d))}{\cos(kd)} \sin(kx - \omega t) \quad \dots\dots\dots(19)$$

Dalam bentuk kompleks, velocity potensial gelombang linier adalah

$$\Phi = \frac{gH}{2\omega} \frac{\cosh(k(z-d))}{\cos(kd)} e^{i(kx - \omega t)} \quad \dots\dots\dots(20)$$

Tranformasi dari koordinat Cartesius ke koordinat kutub dilakukan pada faktor $e^{i(kx)}$. Sehingga

$$\Phi = \frac{gH}{2\omega} \frac{\cosh(k(z-d))}{\cos(kd)} e^{i(kr \cos \theta)} \quad \dots\dots\dots(21)$$

mengingat

$$e^{i(kr \cos \theta)} = e^{i(kr \cos \theta)} = \cos(kr \cos \theta) + i \sin(kr \cos \theta)$$

Kemudian dilakukan transformasi kedalam deret fungsi Bessel

$$\begin{aligned} \cos(kr \cos \theta) &= J_0(kr) - 2J_2(kr) \cos(2\theta) + 2J_4(kr) \cos(4\theta) - \dots\dots\dots \\ &= J_0(kr) + 2 \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m J_{2m}(kr) \cos(2m\theta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dan } i \sin(kr \cos \theta) &= 2iJ_1(kr) \cos(\theta) + 2iJ_3(kr) \cos(3\theta) - \dots\dots\dots \\ &= 2i \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^m J_{2m+1}(kr) \cos((2m+1)\theta) \end{aligned}$$

sehingga

$$\begin{aligned} e^{i(kr \cos \theta)} &= J_0(kr) + 2 \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m J_{2m}(kr) \cos(2m\theta) + 2i \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^m J_{2m+1}(kr) \cos((2m+1)\theta) \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} \beta_m J_m(kr) \cos(m\theta) \end{aligned}$$

dengan

$$\beta_m = 1 \text{ untuk } m=0$$

$$\text{dan } \beta_m = 2i^m \text{ untuk } m \geq 1$$

Sehingga velocity potensial dalam koordinat kutub setelah dirubah dalam fungsi deret Bessel adalah

$$\Phi = \frac{g a^2}{2\omega} \frac{\cosh(k(z+d))}{\cos(kd)} \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} \beta_m J_m(kr) \cos(m\theta) \right\} e^{i(\omega t - \frac{\omega}{k} z)} \dots\dots\dots(22)$$

dengan

a = amplitudo gelombang

g = percepatan gravitasi

ω = kecepatan sudut gelombang

k = wave number

z = displacement arah vertikal dari permukaan laut

d = kedalaman laut

J_m = fungsi Bessel jenis I orde m

r = jari-jari struktur silinder

m = orde Bessel

θ = koordinat silinder

2.3 TINJAUAN BEBAN GELOMBANG

Perhitungan beban gelombang laut akan membutuhkan langkah berikut :

- mencatat karakteristik gelombang selama kurun waktu tertentu
- menentukan teori gelombang yang sesuai
- menentukan properti gelombang (k, λ , celerity)
- menentukan teori perhitungan beban gelombang.

Terdapat tiga teori yang umum untuk menghitung gaya gelombang pada suatu struktur yaitu;

- teori Froude-Krylov
- teori Morisson
- teori difraksi

Teori Froude-Krylov digunakan untuk menghitung beban gelombang pada benda yang relatif ramping dengan kondisi beban gelombang didominasi gaya inersia fluida. Harga gaya Froude-Krylov merupakan integral dari tekanan dinamis yang memiliki arah tegak lurus terhadap luasan basah benda. Tekanan dinamis adalah turunan velocity potential gelombang insiden terhadap waktu.

Teori Morisson digunakan untuk menghitung beban gelombang pada benda yang memiliki dimensi kecil dibandingkan panjang gelombang ($d/\lambda < 0.2$). Pada kondisi ini ketika gelombang membentur struktur diasumsikan tidak terjadi perubahan karakteristik gelombang. Sehingga gaya gelombang dianggap bekerja pada sumbu struktur.

Teori Morisson menyatakan bahwa beban gelombang merupakan jumlah tiga komponen gaya gelombang; yaitu gaya Froude-Kylov, gaya massa tambah, gaya tahanan.

Gaya massa tambah secara matematis adalah gaya hasil perkalian massa tambah fluida dengan percepatan fluida relatif terhadap benda terbenam.

Bila suatu benda yang berada dalam keadaan terbenam mengalami

percepatan maka akan terjadi fenomena massa tambah. Fenomena massa tambah berasal dari adanya sejumlah massa fluida yang berada disekitar benda, yang turut mengalami percepatan relatif (antara benda dan fluida).

Gaya tahanan adalah gaya yang terjadi pada fenomena interaksi aliran relatif fluida terhadap fisik benda terbenam (dalam fluida). Fenomena tersebut berupa timbulnya gaya geser dan sirkulasi pada fluida akibat aliran yang diskontinyu yang terjadi di permukaan basah benda terbenam. Resultan aliran fluida yang memiliki arah tangensial terhadap permukaan benda akan menghasilkan gaya gesek fluida. Sedangkan resultan aliran fluida yang normal terhadap permukaan benda akan menghasilkan gaya drag. Gaya tahanan fluida merupakan jumlah gaya gesek fluida dan gaya drag. Gaya tahanan memiliki arah kerja yang berlawanan dengan kecepatan relatif benda dengan aliran fluida.

Pada struktur yang ukuran penampangnya relatif lebih besar daripada panjang gelombang terjadi peristiwa perubahan karakteristik antara gelombang datang (ke arah benda) dengan gelombang 'pergi'. Sehingga asumsi perhitungan beban gelombang yang menggunakan teori Morison tidak dapat digunakan ($d/\lambda > 0.2$). Pada kondisi ini untuk menghitung gaya gelombang berlaku teori difraksi. **Teori difraksi** menyatakan bahwa total potensial kecepatan difraksi (ϕ) diperoleh dari penjumlahan potensial kecepatan gelombang insiden (ϕ_i) dengan



potensial kecepatan gelombang scattered (ϕ_s). Gelombang insiden

diasumsikan memiliki medan insiden yang sejajar (ideal).

Beban gelombang dinyatakan sebagai integral tekanan akibat potensial kecepatan scattered terhadap luasan benda.

Asumsi yang digunakan :

- kedalaman konstant
- viskositas = 0
- fluida dianggap inkompresibel sehingga densitas fluida = konstant
- fluida irrotasional
- memenuhi local inersia term yaitu menganggap tinggi gelombang dianggap 'kecil'.

Kondisi batas yang digunakan untuk penurunan persamaan gelombang scattered :

- memenuhi kontinuitas persamaan Laplace
- untuk permukaan laut (free surface) yaitu $z = 0$: $\left[\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right] = 0$
- untuk dasar (fixed boundary) yaitu $z = -d$: $\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0$
- untuk permukaan benda : $\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0$; dimana n adalah vektor arah normal permukaan benda
- kondisi radiasi yang menyatakan tidak terjadi radiasi :

$$\lim_{r \rightarrow \infty} r^{1/2} \left[\frac{\partial \Phi_s}{\partial r} - ik \Phi_s \right] = 0$$

Potensial kecepatan gelombang scattered

$$\Phi_s = \frac{H_0}{2\pi} \frac{\cosh(k(z+d))}{\cosh(kd)} \left[\sum_{m=0}^{\infty} \beta_m B_m H_m^1(kr) \cos(m\theta) \right] e^{-i\omega t} \dots\dots\dots (23)$$

Potensial kecepatan gelombang difraksi :

$$\phi_d = \phi_i + \phi_s \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$\phi_s = \frac{H_0}{2\omega} \frac{\cosh(k(z+d))}{\cosh(kd)} \left[\sum_{m=0}^{\infty} \beta_m \{J_m(kr) + B_m H_m^{(1)}(kr)\} \cos(m\theta) \right] e^{-i\omega t} \quad \dots\dots\dots(25)$$

Suku $J(kr)$ - B diselesaikan dengan Wronskian identity

$$J_m(kr) - \frac{J_m'(kr)}{H_m^{(1)'}(kr)} H_m^{(1)}(kr) = \frac{2i}{\pi k r H_m^{(1)'}(kr)}$$

dimana

$$B_m = -\frac{J_m'(kr)}{H_m^{(1)'}(kr)}$$

Sehingga velocity potensial scatered menjadi

$$\phi_d = \frac{H_0}{2\omega} \frac{\cosh(k(z+d))}{\cosh(kd)} \left[\sum_{m=0}^{\infty} \frac{i\beta_m}{\pi k r H_m^{(1)'}(kr)} \cos(m\theta) \right] e^{-i\omega t} \quad \dots\dots\dots(26)$$

dengan

H = tinggi gelombang

g = percepatan gravitasi

ω = frekwensi sudut gelombang

k = wave number

z = displacement arah vertikal

d = kedalaman

$\beta_m = 2i$ untuk $m > 1$; $\beta = 0$ untuk $m = 0$

J_m = fungsi Bessel jenis I orde m

r = jari-jari struktur silinder

m = orde Bessel

H_m = fungsi Henkel jenis I orde m

θ = koordinat silinder

Fungsi Bessel dan Henkel

Fungsi Bessel digunakan dalam perumusan velocity potensial koordinat polar. Berikut ini adalah perumusan fungsi Bessel.

Fungsi Bessel jenis 1 :

$$J_1(kr) = \sum_{q=0}^{\infty} \frac{(-1)^q (kr)^{2q+1}}{2^{2q+1} q! (q+1)!}$$

Fungsi Turunan Bessel jenis 1:

$$J'_1(kr) = \sum_{q=0}^{\infty} \frac{(-1)^q (2q+1) (kr)^{2q}}{2^{2q+1} q! (q+1)!}$$

Fungsi Bessel jenis 2 :

$$Y_1(kr) = \frac{1}{\pi} \sum_{q=0}^{\infty} \frac{(-1)^q \left(\frac{kr}{2}\right)^{2q+1}}{q! (q+1)!} \left(2 \log \frac{kr}{2} + 2\gamma - b_{q+1} - b_q\right) - \frac{1}{\pi} \sum_{q=0}^0 \frac{(1-q-1)!}{2^q}$$

Fungsi Turunan Bessel jenis 2

$$Y'_1(kr) = \frac{1}{\pi} \sum_{q=0}^{\infty} \left[\frac{(-1)^q (2q+1) \left(\frac{kr}{2}\right)^{2q}}{2^{2q+1} q! (q+1)!} \left(2 \log \frac{kr}{2} + 2\gamma - b_{q+1} - b_q\right) + \frac{(-1)^q \left(\frac{kr}{2}\right)^{2q-1}}{2^{2q+1} q! (q+1)!} \left(\frac{2}{kr} \log e\right) \right] - \frac{1}{\pi} \sum_{q=0}^0 \frac{(2q-1) \left(\frac{kr}{2}\right)^{2q}}{2^{2q+1} q!}$$

Fungsi Henkel hanya terdapat dalam perumusan velocity potensial dan tidak dipergunakan secara langsung untuk penentuan gaya dan moment akibat gelombang difraksi. Berikut ini adalah perumusan fungsi Henkel.

Fungsi Henkel jenis pertama

$$Hm^{(1)}(kr) = Jm(kr) + iYm(kr)$$

Fungsi Henkel jenis kedua

$$Hm^{(1)}(kr) = Jm(kr) - iYm(kr)$$

Telah disebutkan sebelumnya bahwa gaya gelombang difraksi adalah integral dari tekanan terhadap luas permukaan. Tekanan diperoleh dari persamaan Bernoulli

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2}u^2 + \frac{1}{2}w^2 + \frac{p}{\rho} + gz = F(t)$$

$F(t)$ dianggap harga konstan dan karena menggunakan teori gelombang linier maka $\frac{1}{2}(u^2 + w^2)$ diabaikan. Sehingga persamaan Bernoulli

$$P = -\rho(gz - \frac{\partial \Phi}{\partial t})_{r=a}$$

sehingga tekanan untuk gelombang difraksi

$$P = -\rho g z - \rho \frac{H_0}{2\omega} \frac{\cosh(k(z+d))}{\cosh(kd)} \left[\sum_{m=0}^{\infty} \frac{i\beta_m}{\pi k r H_m^{(1)}(kr)} \cos(m\theta) \right] e^{-i\omega t}$$

Gaya total dinyatakan sebagai integral tekanan terhadap luas permukaan benda (Brebba dan Walker, 1979)

$$F = \int P dA \dots\dots\dots(27)$$

gaya total pada suatu silinder tegak

$$F = 4\rho r \frac{A(kr)\tanh}{k^2}(\omega t - \delta) \dots\dots\dots(28)$$

dimana

$$A(kr) = \frac{1}{\sqrt{J_1^2(kr) + Y_1^2(kr)}}$$

$$\delta = -\tan^{-1}\left(\frac{Y_1^2(kr)}{J_1^2(kr)}\right)$$

dan moment guling (over turning moment) pada struktur akibat gaya gelombang

$$M = 2\rho g \frac{H}{2} d \frac{A(kr)}{k^2} \left[\frac{kd \sinh(kd) + 1 - \cosh(kd)}{(kd)^2 \cosh(kd)} \right] \cos(\omega t - \delta) \dots\dots\dots(29)$$

2.4 TINJAUAN MODEL SISTEM STRUKTUR TANAH

Untuk analisa-dinamis struktur terdapat dua cara pemodelan yang biasa digunakan dalam memodelkan struktur-gravitasi dinamis yaitu :

- model dengan metode elemen hingga (continuous)
- model sistem lumped (deskrit)

Dengan menggunakan beberapa elemen, metode elemen hingga dapat memodelkan suatu ruang tanah dengan detail properti.

Ukuran elemen pada model tanah ditentukan oleh dimensi ruang tanah yang memiliki properti yang seragam. Dari properti yang seragam ini akan dibuat komponen dinamis yang mewakili karakteristik perilaku tanah.

Elemen ini akan diwakili oleh komponen dinamis lainnya (peredam dan pegas) yang bekerja sepanjang elemen. Metode elemen hingga menggunakan shape function dan dari tiap elemen sehingga hasil analisa dengan metoda ini dapat berupa displacement sepanjang elemen.

Kelebihan metode ini antara lain

- model dapat menyatakan variasi properti tanah sesuai data tanah yang ada,
- model dapat mengakomodasi desain dengan embadement, bentuk struktur.

Kelemahan metode ini adalah

- mahalnnya harga untuk mendapatkan data yang akurat dan lengkap untuk mendapatkan model tanah yang detail

- masih terdapat kemungkinan kesalahan data akibat salah survey atau kurang detail
- banyaknya derajat kebebasan model sehingga menjadi rumit dan mahal

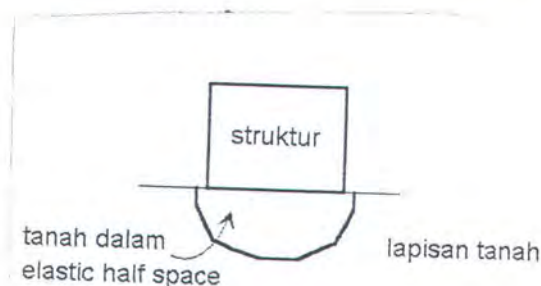
Model sistem lumped meninjau massa sistem terbeban menjadi satu atau lebih titik tinjauan dan dari hasil perhitungan akan diperoleh displacement pada titik-titik tinjauan tersebut.

Pada kasus permasalahan dalam TA ini diasumsikan bahwa dasar struktur rigid sehingga struktur dapat dimodelkan sebagai satu massa lumped.

Model dengan sistem lumped untuk tanah merupakan penerapan konsep elastic half space.

Elastic half space

Pendekatan ini juga disebut semi-infinite isotropik elastis. Pendekatan ini diperkenalkan pertama kali oleh Sung (1953). Dengan memberlakukan pendekatan circular disc, yaitu menganggap dasar struktur kaku maka properti redaman dan kekakuan hanya berasal dari tanah.



Gambar 2.7 elastic half space

Pendekatan elastic half space mengidealkan bentuk tanah yang terpengaruh, sehingga bergerak yaitu dengan membatasi tanah dalam bentuk setengah volume bola. Asumsi karakteristik tanah yang diberlakukan untuk pendekatan ini yaitu;

- elastis (soft-soil)
- homogen (tanah dianggap sejenis)
- isotropis (kerapatan yang sama)
- semi infinite (lapisan tanah relatif tebal) .

Kelemahan metode ini adalah

- resiko kesalahan pemodelan karena model tidak detail dan terlalu ideal
- rumus pondasi dinamis didasari percobaan dengan plate-test, dimana ukuran plate tidak sebanding dengan ukuran struktur gravitasi

2.5 TINJAUAN MEKANIKA TANAH

Properti tanah menurut fungsi teknik dapat dikelompokkan sebagai berikut

(Bowles, 1992) :

- kelompok yang berhubungan langsung dengan kekuatan
- kelompok yang berhubungan langsung dengan penurunan tanah
- kelompok gravimetrik-volumetrik
- kelompok yang berhubungan dengan permeabilitas.

Analisa dinamis kasus struktur dalam TA ini membutuhkan properti-properti kekuatan seperti modulus elastisitas tanah, koefisien kompresi uniform, angka poisson. Dalam analisa pondasi (statis) compresibilitas merupakan respon tanah terhadap perubahan tegangan normal. Bila pondasi dibangun dan dibebani akan terjadi peningkatan tegangan tanah sehingga akan menimbulkan regangan elastis.

Tanah adalah materi khusus yang memiliki properti tegangan-regangan yang kompleks. Properti tegangan-regangan ini bergantung pada (Coduto, 1995); susunan partikel tanah (yang bermacam-macam), interaksi antar partikel, properti fisik dan kimia, dan lain-lain. Properti tegangan-regangan ini yaitu modulus elastisitas, angka poisson, koefisien kompresi uniform, modulus sub-grade

- a. Modulus elastisitas merupakan hubungan properti tegangan dan regangan suatu material. Bila material dibebani vertikal maka parameter dinyatakan sebagai berikut;

$$E = \sigma / \epsilon$$

Satuan modulus elastisitas adalah N/ m². Mengenai cara pengukuran terdapat ASTM 1994 D 3999, ASTM 1994 D4015.

- b. Angka Poisson adalah perbandingan regangan horisontal dengan regnagn vertikal. Cara pengukuran ASTM 1994 D 4719
- c. Koefisien sub grade (statis) adalah hubungan properti tegangan dengan settlement yang diperoleh dari percobaan terhadap sampel

tanah yang dibebani dengan beban yang terus meningkat, sehingga settlement yang terjadi bertambah. Satuan modulus sub-grade adalah N/ m³

- d. Koefisien kompresi (uniform) adalah hubungan tegangan dengan settlement yang diperoleh dari percobaan terhadap sampel tanah yang dibebani dengan beban dinamsi yang juga bertambah, sehingga settlement yang terjadi bertambah. Satuan koefisien ini adalah N/ m³.

Dalam pembahasan selanjutnya koefisien kompresi (uniform) akan disebut sebagai modulus sub-grade; hal ini didasarkan pada penggunaan istilah koefisien kompresi uniform sebagai koefisien subgrade dalam CIRIA report UR8

$$C_{it} = \frac{1.13 \varepsilon}{1 - \nu^2} \frac{1}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots (30)$$

Catatan untuk pengambilan data properti tanah (Whitman, 1972)

- mengevaluasi tegangan tanah arah vertikal dan horisontal pada titik rekomendasi dengan memperhitungkan beban statis dari tanah dan struktur diatasnya.
- menghitung hubungan tegangan efektif dan modulus geser
- menggabungkan hasil perhitungan untuk memperoleh modulus geser yang mewakili tanah secara keseluruhan.

2.6 TINJAUAN TANAH DINAMIS

Keilmuan properti dinamis tanah yang didasari pada prinsip pondasi mesin atau pondasi getar atau pondasi dinamis. Keilmuan ini didasari pada prinsip dinamika struktur yang telah berkembang baik. Tidak berbeda dengan prinsip pondasi pada umumnya (statis), pondasi dinamis juga menghantarkan energi yang diterimanya ke dalam tanah (pusat bumi).

Pada penggunaannya pengetahuan pondasi dinamis digunakan untuk merekayasa getaran yang terjadi pada struktur diatas pondasi, sehingga getaran yang dialami tidak menimbulkan gangguan pada struktur, peralatan dan lingkungan disekitarnya. Seperti kriteria pada analisa dinamis struktur, kriteria kegagalan pada pondasi dinamis juga ditentukan oleh displacement dan frekwensi natural sistem.

Sistem struktur-tanah dengan pemodelan sistem lumped meninjau perilaku gerak sistem dimana massa tanah, redaman dan kekakuan tanah merupakan fungsi diameter lingkaran (struktur), angka poisson, modulus elastisitas. Pada desain pondasi, besaran desain yang mempengaruhi dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu (Srinivasulu 1977):

- properti geometris seperti dimensi, titik berat, massa, moment inersia
- properti fisik dasar pondasi (tanah) seperti angka poisson, berat jenis tanah, modulus subgrade

2.6.1 Kekakuan dan Redaman Tanah

2.6.1.1 Kekakuan Tanah

Hukum Hooke menyatakan bahwa untuk strain dengan harga deformasi, yaitu perubahan jarak antar titik tinjauan dalam material, yang bernilai kecil maka hubungan tegangan dan regangan bersifat linier atau proporsional. Untuk tegangan tarik pada meterial padat hubungan dinyatakan dengan harga konstanta yang disebut modulus elastisitas (modulus Young). Elastis adalah sifat material yang memiliki kecenderungan untuk kembali menjadi dimensi semula setelah sebelumnya mengalami perubahan dimensi (displacement), akibat adanya gaya luar yang bekerja.

Perbedaan tanah dengan material homogen (logam) adalah pada keseragaman partikel pembentuknya; dimana pada tanah partikel pembentuk tanah terdiri dari bermacam fasa sehingga elastisitas tanah tidak sempurna. Sehingga terjadi perilaku properti tanah yang unik seperti angka poisson yang berbeda untuk tiga arah koordinat ruang dan membutuhkan waktu relatif lama untuk mengalami atau mengembalikan deformasi.

Agar pendekatan elastic half space dapat digunakan maka tanah harus memenuhi syarat homogen dan isotropis. Tanah terdiri dari partikel yang berasal dari bermacam fasa (padat, fluida). Karena itu dilakukan pengujian yang menggunakan sampel tanah dengan dimensi kecil; yang diharapkan akan menghasilkan partikel tanah yang cenderung seragam.

Sehingga properti hasil pengujian semakin mendekati harga properti partikel padat; dimana partikel padat dari tanah akan memiliki kekakuan lebih besar dibanding tanah secara keseluruhan. Hasil pengujian tegangan terhadap tanah akan menghasilkan harga tegangan atau perubahan volume partikel tanah rata-rata dari partikel tanah dalam sampel. Beberapa catatan tentang pengaruh beban dinamis terhadap settlement yaitu

- bahwa settlement yang terjadi pada struktur yang mengalami beban dinamis akan lebih besar dibandingkan pada struktur yang mengalami beban statis.
- terjadi perubahan properti tanah selama pembebanan dinamis
- daya dukung tanah pasir lebih kecil dari tanah lempung; hal ini berbeda dengan pandangan dalam analisa pondasi.

2.6.1.2 Redaman Tanah

Redaman menyatakan hilangnya energi eksitasi yang disebabkan karena energi merambat melalui fasa media atau berubah wujud. Terjadi dua peristiwa peredaman pada tanah yaitu;

a. Redaman akibat hilangnya energi internal. Hal yang menyebabkan redaman ini yaitu (Barkan, 1962)

- gesek internal dan kohesi internal
- ketahanan vibroviscous akibat keberadaan fluida

b. Energi disalurkan ke dalam Bumi melewati lapisan elastis. Redaman ini juga disebut redaman geometris atau redaman radiasi. Redaman diperoleh dengan mengasumsikan struktur rigid berada di atas tanah elastis, homogen dan isotropis (Richart, 1970). Pada penggunaannya redaman ini dinyatakan dalam rasio dan merupakan fungsi rasio massa. Sedangkan besar redaman tergantung jenis derajat kebebasan yang terjadi.

Rasio massa menyatakan adanya sejumlah tanah yang ikut bergerak dengan amplitudo, sudut fase sesuai sistem struktur. Pada kenyataannya arah dan percepatan getar terhadap partikel tanah ini bervariasi. Dalam perhitungan tanah dinamis, rasio redaman tanah memiliki harga sekitar 0.05 (sehingga termasuk kasus underdamped).

Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada teori pertama (Barkan, 1962) energi berubah menjadi deformasi dan pergerakan partikel padat dan cair sedangkan pada teori kedua (Richart, 1970) energi eksitasi merambat menuju pusat Bumi.

Dari mekanismenya redaman tanah termasuk redaman histerik tetapi redaman tanah memiliki karakteristik grafik peredaman yang menyerupai redaman viskositas (Richart, Hall, Woods, 1970). Sehingga redaman yang digunakan dalam model permasalahan yang akan dibahas adalah redaman viskositas. Keuntungan penggunaan redaman viskositas secara matematis adalah karena merupakan fungsi kecepatan, sehingga memudahkan perhitungan.

Beberapa faktor yang mempengaruhi harga redaman dan kekakuan yaitu

- bentuk dasar pondasi
- ada tidaknya embadement (pembenaman)
- tebal lapisan elastis
- penggunaan modifikasi pile

2.6.2 Perumusan Massa Efektif , Rasio Redaman dan Kekakuan

Tanah

Perumusan berikut merupakan perumusan komponen persamaan gerak.

Perumusan Whitman (1972) merupakan salah satu perumusan yang memperhitungkan adanya massa efektif tanah selain Hsieh (1962).

Sedangkan perumusan lain seperti Richart (1970), Barkan (1962) mengabaikan keberadaan massa efektif tanah ini. Massa efektif tanah ini didasarkan pada penggunaan konsep elastic half space. Perumusan Barkan (1962) tidak memperhitungkan efek redaman tanah. Hal ini disebabkan karena harga redaman yang menurut Barkan tidak menghasilkan perbedaan yang signifikan dari amplitudo benda tereksitasi.

Metode analisa pondasi dinamis dapat dikelompokkan menjadi tiga (Srinivasulu, 1977) yaitu : metode empirik (Tschebotarioff, 1953); metode dengan prinsip tanah semi-infinite elastis (Richart, 1970 dan Hsieh, 1962); metode tanah pegas (Barkan, 1962). Dalam perkembangannya dimungkinkan penggunaan kombinasi metode seperti yang digunakan Ciria Engineering.

Tabel 2.1 perumusan massa efektif tanah (Whitman, 1972)

	massa tanah efektif (M)
vertikal	$1.08 \rho R^3 / (1-\nu)$
horisontal	$0.76 \rho R^3 / (2-\nu)$
rocking	$0.64 \rho R^5 / (1-\nu)$
twisting	$0.24 \rho R^5$

Tabel 2.2 perumusan redaman (Whitman, 1972)

	rasio massa (B)	rasio damping (ξ)
vertikal	$M / \rho R^3$	$0.49 / B^{0.5}$
horisontal	$M / \rho R^3$	$0.31 / B^{0.5}$
rocking	$I / \rho R^5$	$0.15 / (B^{0.5} (1+B/4))$
twisting	$J / \rho R^5$	$0.5 / (1+2B)$

Tabel 2.3 Klasifikasi tanah untuk rekomendasi harga Cu (Barkan, 1962)

tipe	kelompok tanah	allowable static bearing capacity (MN /m ²)	koefisien kompresi (uniform) Cy (MN /m ³)
1	tanah lemah (kondisi plastis)	< 0.15	< 30
2	tanah menengah (kondisi pada limit plastis)	0.15 – 0.35	30 – 50
3	tanah kuat (kondisi konsisten)	0.35 – 0.5	50 – 100
4	batuan	> 0.5	> 100

Tabel 2.4 Perumusan kekakuan tanah(Barkan, 1962)

jenis derajat kebebasan	kekakuan	K(Cu)
vertikal	Cu A	
sliding	Cx A	0.5 Cu A
rocking	C θ I	1.7 Cu A
twisting	C I	0.75 Cu A

ada waktu
kita ingin tapi tidak bisa
lalu kita putus asa
padahal kita hampir...

ada waktu
kita ingin dan kita bisa
lalu kita lupa
padahal kita hampir...

bukan hampir bisa
bukan hampir tidak bisa
tapi hampir sadar kalau kita hanya...

(April 5, 96)

3. PEMODELAN MASALAH DAN PERUMUSAN PROGRAM

III PEMODELAN MASALAH DAN PERUMUSAN PROGRAM

Dari pembahasan sebelumnya telah disebutkan bahwa sebelum dilakukan analisa terhadap sistem struktur, harus ditentukan variabel-variabel perancangan (dimensi, berat). Kemudian dalam langkah analisa berturut-turut dilakukan; langkah pemodelan sistem, langkah pemodelan matematika, analisa pemodelan matematika atau penentuan perilaku struktur. Pemodelan matematika dalam sistem struktur dinamis adalah penyusunan persamaan gerak dan perilaku struktur ditentukan dengan penyelesaian persamaan gerak.

Dalam menganalisa kasus sistem struktur dalam TA ini, penyusunan persamaan gerak dan penyelesaian persamaan gerak dilakukan dengan menjalankan program komputer yang telah dibuat oleh penulis. Sedangkan penyelesaian langkah pemodelan sistem struktur ditentukan oleh subjektifitas, kepekaan dan kemampuan perancang. Dalam bab ini akan diuraikan langkah pemodelan dan perumusan program komputer.

3.1 PEMODELAN SISTEM STRUKTUR

Dalam pemodelan atau pengembangan model harus dibuat kerangka pemodelan. Adapun kerangka pemodelan memiliki beberapa langkah penting yaitu;

- Identifikasi masalah
- Menentukan tujuan
- Identifikasi atau karakterisasi objek atau sistem
- Memilih proses analisa, yang merupakan implikasi karakter sistem
- Menentukan variabel dan parameter

Berikut ini adalah kerangka pemodelan struktur dalam TA ini.

- A. Masalah dalam TA ini adalah bagaimana mengetahui perilaku dinamis dari interaksi sistem fluida-struktur-tanah pada struktur gravitasi berbentuk silinder tegak yang terbenam sebagian akibat beban gelombang.
- B. Tujuan pemodelan mendapatkan perilaku dinamis dari sistem. Perilaku dinamis diperoleh dengan tahap penyusunan persamaan gerak, yang terdiri dari massa sistem, redaman, kekakuan dan beban eksitasi, dan tahap penyelesaian persamaan gerak.
- C. Karakteristik sistem adalah sebagai berikut :
 - struktur memiliki massa yang besar
 - struktur memiliki diameter besar
 - struktur berbentuk silinder
 - struktur tidak terapung
 - struktur mendapat beban eksitasi gelombang

- struktur memiliki bidang interaksi dengan tanah yang luas
- struktur diasumsikan rigid

D. Proses-proses yang akan digunakan untuk analisa akibat karakteristik sistem dalam TA ini adalah :

- Akibat konfigurasi struktur yang merupakan struktur gravitasi terbenam sebagian maka terjadi gerakan sliding dan rocking serta tidak terjadi gerakan heave dan;
- akibat struktur diasumsikan rigid maka struktur maka displacement yang ditinjau yaitu titik puncak sumbu, titik dasar sumbu dan titik berat sistem mengalami selama tereksitasi selalu segaris. Maka sistem struktur dapat dimodelkan dengan satu massa lumped dengan dua derajat kebebasan.
- Akibat besarnya dimensi struktur beban gelombang harus diperhitungkan dengan menggunakan teori difraksi
- Akibat adanya percepatan di laut terjadi fenomena massa tambah yang harus diperhitungkan
- Akibat luasnya bidang interaksi struktur-tanah maka terdapat mekanisme redaman dan kekakuan tanah; sehingga dipilih perumusan Whitman (1972) dan perumusan Barkan (1962). Dan dengan menggunakan perumusan Whitman (1972) terdapat massa efektif tanah
- Akibat beban gelombang merupakan beban eksitasi, massa sistem yang besar dan tujuan pemodelan harus dilakukan analisa dinamis terhadap sistem.



- Akibat digunakannya perumusan Whitman (1972), yang didasari pendekatan elastic half space, maka analisa tanah dapat menggunakan satu harga properti tanah; yang mewakili lapisan tanah sistem-struktur yang berbentuk ruang-setengah-bola.
- Akibat beban gelombang yang dipilih merupakan beban harmonis maka dipilih penyelesaian persamaan gerak dengan penyelesaian persamaan diferensial linier tingkat dua, yang menggunakan domain waktu.
- Dalam program juga ditambahkan dengan perhitungan amplitudo kopel untuk titik berat, titik pada puncak dan dasar struktur, frekuensi kopel natural tidak teredam

E. Variabel dan parameter dari proses-proses analisa yang telah disebutkan sebelumnya, dalam TA ini ,disajikan dalam tabel 3.1

Tabel 3.1 Variabel sebab dan parameter dari proses analisa kasus TA

	Variabel sebab	parameter	Keterangan
Massa struktur	M_s, I_g	Tidak ada	Merupakan data perancangan
Massa tambah fluida	T_s, R, ρ	Tidak ada	
Massa efektif tanah	R, ρ_t	v	
Rasio redaman	M_s, I_g, T_s, R, ρ_t	v	
Kekakuan	R	C_u	
Gaya eksitasi	$i_d, R, n,$	T, H	

Keterangan tabel

M_1 =massa struktur

l_g =titik berat struktur dari dasar struktur

R = radius penampang struktur

T_s =tinggi struktur

ρ =massa jenis fluida (air laut)

ρ_t =massa jenis tanah

d =kedalaman laut

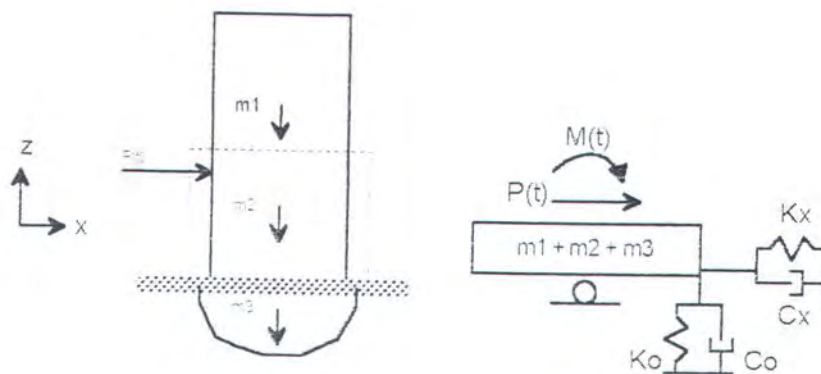
T =periode gelombang

H =tinggi gelombang

C_u =koefisien subgrade

ν =angka poisson tanah

Berdasarkan pengertian proses-proses analisa, yang diambil dari kerangka pemodelan, diperoleh sistem struktur dapat dijadikan model parameter lumped seperti dalam free-body diagram pada gambar 3.1.



- m_1 = massa struktur
- m_2 = massa tambah fluida
- m_3 = massa efektif tanah
- C_o = redaman tanah untuk gerakan rocking (rotasi sumbu-y)
- C_x = redaman tanah untuk gerakan sliding (translasi arah-x)
- K_o = kekauan tanah untuk gerakan rocking (rotasi sumbu-y)
- K_x = kekauan tanah untuk gerakan sliding (translasi arah-x)
- $M(t)$ = moment dinamis akibat eksitasi gelombang
- $F(t)$ = gaya dinamis akibat eksitasi gelombang

Gambar 3.1 sistem struktur dalam lumped parameter.

3.2 TINJAUAN PROGRAM KOMPUTER

Program komputer merupakan sarana pemroses, dimana interaksi program komputer dengan manusia dinyatakan dengan urutan : masukan dari manusia - proses oleh program komputer – hasil untuk manusia. Dalam sub-bab ini akan diuraikan mengenai program komputer untuk penyelesaian permasalahan dalam TA ini, penjelasan mengenai variabel masukan dan hasil.

3.2.1 Program Grav13.For

Telah disebutkan sebelumnya bahwa langkah analisa terdiri dari pemodelan sistem, pemodelan matematis dan penyelesaian model matematis. Dan pemodelan matematis, yang berupa penyusunan persamaan gerak, dan penyelesaian model matematis, yang berupa penyelesaian persamaan gerak, akan dilakukan oleh program komputer. Dan pada kerangka pemodelan telah dipilih proses-proses yang menjadi akibat dari karakteristik sistem.

Sehingga program komputer yang disusun, seperti pada gambar 3.2, akan dibagi menjadi 3 subprogram yaitu program perhitungan beban gelombang (beban eksitasi), program perhitungan komponen persamaan gerak (massa, redaman, kekakuan) dan program penyelesaian persamaan gerak.

Berikut ini akan diuraikan langkah yang ditempuh dari masing-masing subrutin.

A. Untuk subrutine perhitungan gaya gelombang (subrutine ghoff)

1. Program membaca masukan untuk program yaitu ; densitas air laut (ρ), jari-jari struktur(r), periode gelombang (T), kedalaman dasar laut(d), tinggi gelombang(H) dan orde Bessel(n)
2. Program menghitung wave number dengan menggunakan proses iterasi
3. Program menghitung panjang gelombang dan rasio diameter terhadap panjang gelombang.

4. Program menulis wave number, panjang gelombang, rasio diameter terhadap panjang gelombang dalam file ktstnds.dat
5. Program menghitung deret Bessel untuk jenis 1 dan 2 beserta turunannya sebanyak orde yang diminta
6. Program menulis harga deret Bessel yang telah dihitung dalam file ktstnds.dat
7. Program menghitung koefisien $A(kr)$, yang merupakan fungsi harga jumlah kwadrat deret Bessel dan beda fase
8. Program menulis harga $A(kr)$ dan beda fase dalam file ktstnds.dat
9. Program menghitung gaya dan moment eksitasi
10. Program menulis harga gaya dan moment eksitasi dalam file ktstnds.dat

B. Untuk perhitungan komponen persamaan gerak (subrutine tanah)

1. Program membaca masukan densitas air laut (ρ), massa struktur (m_1), densitas tanah (ρ), angka poison tanah (ν), koefisien subgrade (C_u), tinggi struktur (T_s) dan titik berat struktur (l_g)
2. Program menghitung komponen persamaan gerak yaitu massa tambah fluida, massa efektif tanah, massa sistem, rasio redaman, kekakuan untuk dua derajat kebebasan.

3. Program menulis komponen persamaan gerak yaitu massa tambah fluida, massa efektif tanah, massa sistem, rasio redaman, kekakuan untuk dua derajat kebebasan dalam file ktstnds.dat

C. Untuk perhitungan komponen persamaan gerak (subrutine dinamis)

1. Program membaca masukan gaya eksitasi (dari subrutine ghoff), komponen persamaan gerak (dari subrutine tanah) periode, tinggi struktur dan titik berat.
2. Program menghitung komponen properti dinamis yaitu frekuensi sudut gelombang, frekuensi natural sistem struktur, rasio frekuensi, redaman kritis, frekuensi natural teredam, displacement statis, amplitudo steady-state, beda fase displacement.
3. Program menulis komponen properti dinamis yaitu frekuensi sudut gelombang, frekuensi natural sistem struktur, rasio frekuensi, redaman kritis, frekuensi natural teredam, displacement statis, amplitudo steady-state, beda fase displacement.
4. Program menghitung amplitudo kopel steady state dan frekuensi natural kopel.
5. Program menulis amplitudo kopel steady state dan frekuensi natural kopel.

3.2.2. Konstanta

Dalam proses perancangan, analisa dan segala yang berhubungan dengan pengukuran akan digunakan standard satuan. Saat ini terdapat dua pilihan penggunaan sistem standard satuan yaitu dengan satuan SI dan satuan British atau Fps (feet-pound-second).

Dalam program komputer grav13.for digunakan sistem SI satuan massa-panjang-waktu berturut-turut adalah kilogram-meter-detik. Sehingga konstantan yang digunakan dalam perumusan harus menggunakan satuan SI. Terdapat dua konstanta yang digunakan, yaitu

percepatan gravitasi (g) = 9.81 m/detik^2

ρ = berat jenis air laut (ρ) = 1030 kg/ m^3

Akibat digunakannya satuan SI maka hasil perhiitungan akan menggunakan satuan SI. Dan karena hanya terdapat dua konstanta maka dengan mengganti kedua konstanta tersebut dalam satuan Fps, program grav13.for ini akan dapat digunakan untuk data masukan program yang menggunakan satuan Fps juga.

Catatan

Dari hasil uji kontinuitas program terhadap variasi input, terdapat pembatasan input. Dari beberapa parameter (statistik) input yang dibutuhkan dalam program, ternyata periode gelombang merupakan parameter yang paling sensitif terhadap kontinuitas running program. Periode gelombang dapat

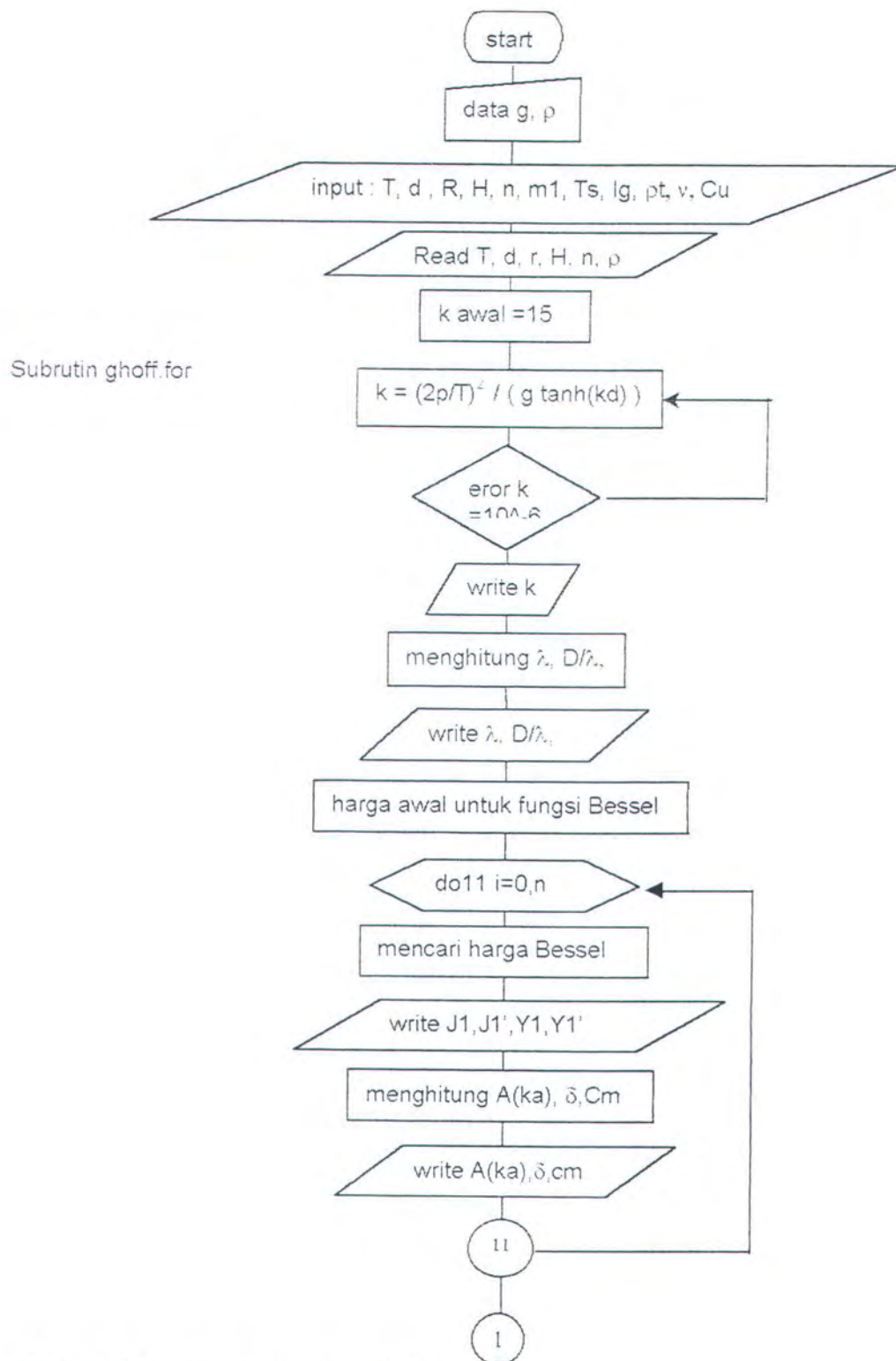
menyebabkan eksekusi program komputer dapat mengalami kekacauan atau terhenti. Terdapat dua kemungkinan yang menyebabkan terjadinya kekacauan eksekusi program komputer dalam TA ini yaitu tidak dapat mengeksekusi perhitungan gelombang atau terjadi peristiwa resonansi.

Variasi untuk periode gelombang telah dicobakan untuk kasus 1. Secara matematika, periode gelombang dengan harga < 0.9 detik akan menghasilkan :

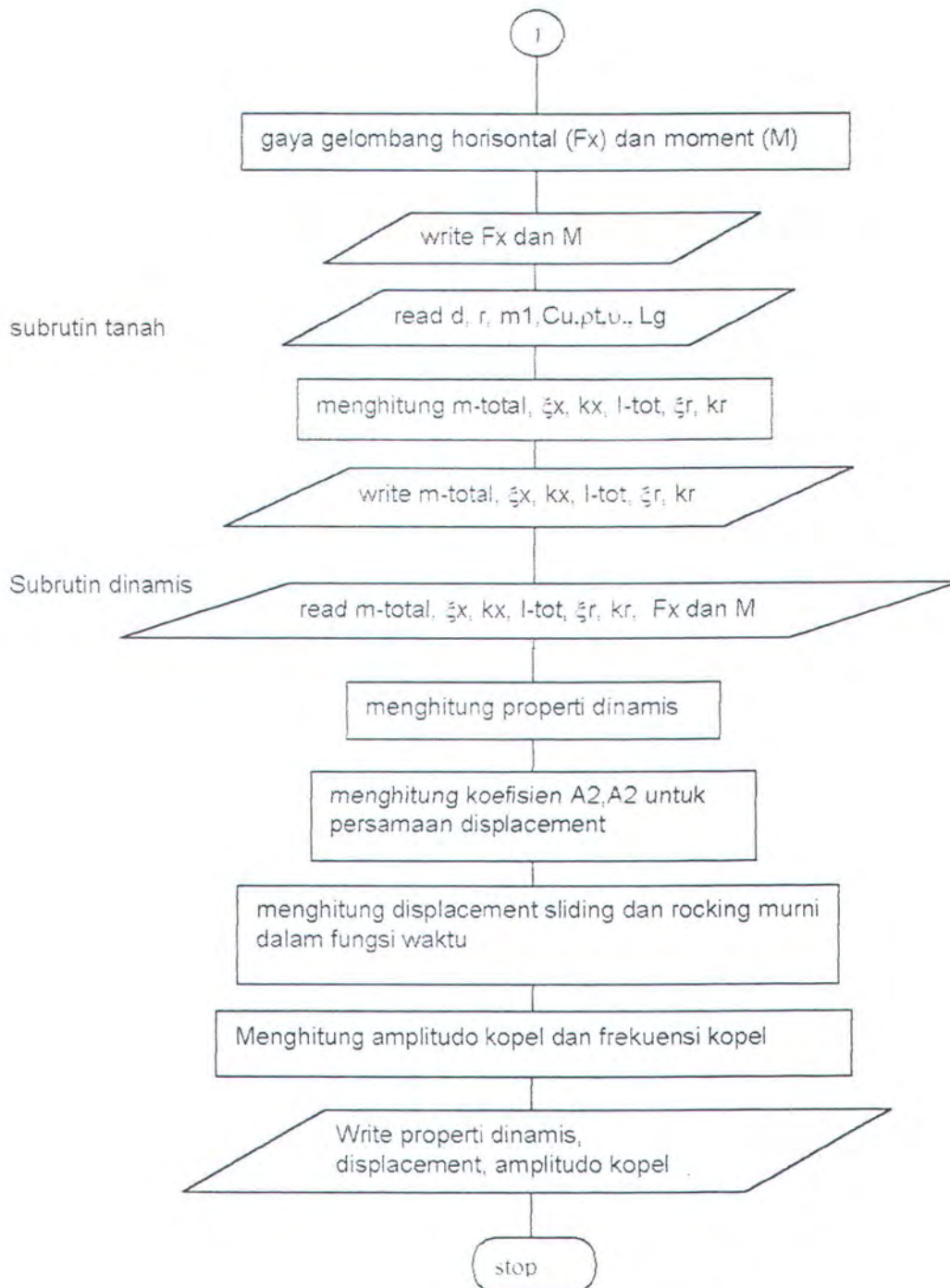
- harga Bessel yang besar
- koefisien $A(ka)$ yang berbanding terbalik dengan harga Bessel $\rightarrow 0$
- gaya mendekati 0

Tetapi pada kenyataannya periode gelombang laut dibawah 4 detik sangatlah jarang (Faltinsen, 1990) sehingga ketidak-kontinuan running program dianggap bukan berasal dari input periode gelombang.

Untuk peristiwa resonansi ditentukan oleh kombinasi redaman dan rasio frekuensi yang taerjadi. Dari peurumusan displacement, secara matematis harga rasio redaman yang mendekati nol dan rasio frekuesi yang mendekati satu akan menghasilkan angka tidak terhingga; yang bagi komputer tidak terdefinisi. Hal inilah yang menyebabkan program terhenti.



Gambar 3.2 Algoritma Program grav13.for



Gambar 3.3 Algoritma Program grav13.for (lanjutan gambar 3.2)

Notasi utama dalam algoritma program grav13.for pada gambar 3.2 dan 3.3

T = periode gelombang (detik)

d = kedalaman laut (m)

r = jari-jari struktur (m)

H = tinggi gelombang (m)

n = jumlah suku Bessel

m_1 = berat struktur (kg)

T_g = tinggi struktur (m)

l_g = titik berat struktur dari dasar struktur (m)

ρ_t = berat jenis tanah (kg/m³)

ν = angka poisson

c_u = koefisien subgrade (N/m³)

k = wave number

λ = panjang gelombang (m)

y_1 = fungsi bessel jenis 1

y_1' = turunan fungsi Bessel jenis 1

j_1 = fungsi bessel jenis 2

j_1' = turunan fungsi Bessel jenis 2

$A(ka)$ = faktor-fungsi Bessel dalam rumus beban difraksi

δ = beda fase gelombang dengan beban (derajat)

C_m = koefisien inersia

F_x = gaya gelombang (kN)

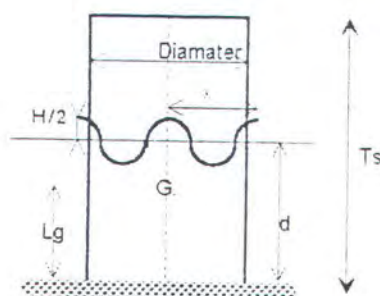
U = amplitudo steady state response (m)

α = beda fase beban gelombang dengan displacement(derajat)

3.2.3 Masukan Program

Untuk mendapatkan hasil analisa dinamis dari program grav13 ini dibutuhkan masukan data masukan yang terdiri dari

- data gelombang : periode gelombang (detik), kedalaman laut (m), tinggi gelombang (m).
- data struktur : jari-jari struktur(m), berat struktur(kg), tinggi struktur(m), titik berat struktur dari dasar struktur(m)
- data tanah : berat jenis tanah (kg/m³), angka poisson, koefisien subgrade modulus (N/m³)
- data batasan awal displacement : waktu initial untuk displacement (detik), displacement awal (m), waktu initial untuk kecepatan (detik), kecepatan awal (m)
- memilih kombinasi penggunaan massa efektif tanah dan redaman.
- memilih diperhitungkan-tidaknya pembenaman dalam tanah dan memasuka harga pembenaman (m), bila ada.



Gambar 3.4 ukuran dimensi sistem-struktur untuk input

3.2.4 Hasil Program

Dengan menjalankan program dan memasukan data ke dalam program grav13.for akan diperoleh beban eksitasi, komponen persamaan gerak, displacement, yang tersaji dalam tabel dalam file ktstds.dat, frekuensi natural dan amplitudo kopel.

- Beban eksitasi yaitu beban gelombang terdiri dari gaya geser(N) dan moment (N-m) akibat gaya gelombang terdistribusi.
- Komponen persamaan gerak yang terdiri dari massa (kg), moment inersia (kg-m^2), rasio redaman sliding dan rocking, kekakuan sliding (N/m), kekakuan rocking (N-m/rad).
- Frekuensi natural (Hz), amplitudo sliding dan rocking kopel (m) dan amplitudo pada titik puncak dan dasar struktur yang segaris dengan sumbu silinder.
- Penyelesaian persamaan gerak berupa displacement (pada titik berat struktur) untuk gerakan sliding dan rocking murni (m)

Hasil running terdiri dari 3 file dalam bahasa ASCII yaitu : ktstdt.dat, ktstnds.dat, ktstds.dat. File ktstdt.dat berisi data masukan. File ktstnds.dat berisi harga Bessel, komponen persamaan gerak dan properti struktur dinamis, amplitudo kopel. File ktstds.dat berisi displacement pada arah sliding, rocking. Contoh file yang dihasilkan dari program ini tersaji pada halaman berikut

a. Contoh file ktstdt.dat

```

periode 0.1120E+02
kedalaman 0.8000E+02
radius struktur 0.2500E+02
tinggi gelombang 0.1475E+02
ordo Bessel 9
berat struktur 0.2400E+09
tinggi struktur 0.1000E+03
jarak titik berat struktur dari dasar struktur 0.4303E+02
berat jenis tanah 0.2000E+04
angka poisson 0.5000E+00
koefisien subgrade 0.7000E+03
waktu terjadi displacement inisial 0.0000E+00
displacement inisial 0.0000E+00
waktu terjadi velocity inisial 0.0000E+00
velocity inisial 0.0000E+00
pilihkan analisa dengan penekanan (ya=1) 2.3763213009482800
kedalaman penekanan struktur 0.0000E+00
pilihkan digunakan massa efektif tanah 1
pilihkan digunakan redaman tanah 1.0000000000000000

```

b. Contoh file ktstnds.dat

```

k = 0.0388336
lamda = 161.789622
D/lamda= 0.309043

```

yl	yl aks	jl	jl aks
-0.728347	0.733279	0.485444	0.500000
-0.692919	0.833007	0.428245	0.323258
-0.694926	0.823310	0.430492	0.334828
-0.694878	0.823641	0.430448	0.334509
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
a(ka)	delta	cm	
1.124892	67.895790	1.519437	

```
ftot x = 0.2214E+09
```



mtot y = 0.1250E-11

m struk = 0.2400E+09
 m tambah = 0.1619E+09
 m eff-tanah = 0.1583E+08
 M tot = 0.4176E+09
 c / Ccr (x) = .084799437
 Kx(stiffness)= 0.3436E+11

inertia struk= 0.1000E+12
 inertia fluida= 0.8629E-11
 inertia eff-tanah= 0.2500E+11
 Inertia tot = 0.3606E+12
 c/Ccr (rock) = .034300333
 Kx(stiffness)= 0.1217E+14

U-x (SSR) = 0.006474

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-x = 1.444
 frekwensi teredam-x = 1.438
 rasio frekwensi = 0.067911
 alfa-x= 0.011670

U-r (SSR) = 0.001039

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-r = 0.933
 frekwensi teredam-r = 0.936
 rasio frekwensi-r = 0.104662
 alfa-r= 0.011481

max displacment-x= 0.6473E-02
 max displacment-r= 0.1036E-02

frekwensi natural-x coupled= 0.501E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.270E+01
 max displacment-x coupled = 0.4072E-01
 max displacment-r coupled = 0.7960E-03
 max displacment-c (puncak)= 0.8605E-01
 max displacment-c (dasar)= 0.6436E-02

Contoh file ktstds.dat, yang ditampilkan sebagian.

det	s.fase	disp-x	disp-rad
0.00	0.000	0.00000E+00	0.00000E+00
0.28	0.175	0.1049E-01	0.1063E-02
0.57	0.349	0.4773E-02	0.1840E-02
0.85	0.524	0.4783E-02	0.7229E-03
1.13	0.698	0.7027E-02	0.1180E-03
1.42	0.873	0.2058E-02	0.9487E-03
1.70	1.047	0.4899E-02	0.1054E-02
1.98	1.222	0.1533E-02	0.4779E-04
2.27	1.396	0.1175E-02	-0.1893E-03
2.55	1.571	0.5914E-03	0.3444E-03
2.83	1.745	-0.1730E-02	0.9138E-04
3.12	1.920	-0.1563E-02	-0.6668E-03
3.40	2.094	-0.3512E-02	-0.6693E-03
3.68	2.269	-0.4021E-02	-0.3610E-03
3.97	2.443	-0.4801E-02	-0.7061E-03
4.25	2.618	-0.5769E-02	-0.1156E-02
4.53	2.793	-0.5859E-02	-0.9941E-03
4.82	2.967	-0.6499E-02	-0.7978E-03
5.10	3.142	-0.6417E-02	-0.1059E-02
5.38	3.316	-0.6373E-02	-0.1207E-02
5.67	3.491	-0.6162E-02	-0.9310E-03
5.95	3.665	-0.5579E-02	-0.7618E-03
6.23	3.840	-0.5058E-02	-0.8691E-03
6.52	4.014	-0.4191E-02	-0.7848E-03
6.80	4.189	-0.3305E-02	-0.4557E-03
7.08	4.363	-0.2297E-02	-0.2891E-03
7.37	4.538	-0.1178E-02	-0.2672E-03
7.65	4.712	-0.3295E-04	-0.6323E-04
7.93	4.887	0.1062E-02	0.2403E-03
8.22	5.061	0.2140E-02	0.3743E-03
8.50	5.236	0.3170E-02	0.4438E-03
8.78	5.411	0.4109E-02	0.6445E-03
9.07	5.585	0.4905E-02	0.8446E-03
9.35	5.760	0.5573E-02	0.8950E-03
9.63	5.934	0.6055E-02	0.9241E-03
9.92	6.109	0.6362E-02	0.1028E-02
10.20	6.283	0.6475E-02	0.1077E-02
10.48	6.458	0.6386E-02	0.1012E-02
10.77	6.632	0.6110E-02	0.9500E-03
11.05	6.807	0.5642E-02	0.9210E-03
11.33	6.981	0.5007E-02	0.8254E-03
11.62	7.156	0.4219E-02	0.6597E-03
11.90	7.330	0.3301E-02	0.5140E-03
12.18	7.505	0.2285E-02	0.3833E-03
12.47	7.679	0.1197E-02	0.2021E-03
12.75	7.854	0.7507E-04	-0.3922E-05

kesetiaan berfluktuasi
sesuai fungsi waktu
dengan kesabaran sebagai redaman
dengan massa kejujuran
dan semangat sebagai pengembali
karena bukan pengertian
tetapi penerimaan
dengan laku harmoni
seperti laut yang akhirnya tentram

(Takuan Soho: "menikahlah dengan kebenaran")

4. VERIFIKASI DAN STUDI PARAMETER

IV. VERIFIKASI DAN STUDI PARAMETER

Suatu alat proses ditemukan manusia dengan tujuan untuk mempermudah kepentingan manusia, dengan mekanisme manusia memberi aksi atau sebab dan alat proses menimbulkan akibat. Agar dapat menolong dan memuaskan manusia suatu alat proses harus dipastikan dapat bekerja dengan suatu baik, menimbulkan akibat yang berguna bagi kepentingan manusia.

Karena adanya ketidak-tentuan, terutama untuk hal yang berkaitan ke masa depan, maka timbul kepercayaan dan ketidak-percayaan manusia terhadap alat proses. Salah satu cara untuk memastikan suatu proses bekerja dengan baik adalah dengan cara verifikasi atau menguji konsistensi relasi.

Proses perhitungan merupakan alat proses, sehingga proses perhitungan perlu diverifikasi. Tujuan verifikasi perhitungan adalah untuk meyakinkan pengguna proses, bahwa perhitungan akan mendapatkan hasil yang tepat. Karena bila hasil perhitungan yang diperoleh tidak tepat maka akan menimbulkan masalah seperti pemborosan, kecelakaan dan lain-lain. Program komputer dalam TA ini termasuk alat proses, sehingga agar program komputer ini layak pakai perlu dilakukan verifikasi.

Verifikasi dilakukan dengan menggunakan seperangkat variabel-standard, yang terdiri dari variabel-sebab dan variabel-akibat

(variabel akibat I), kepada suatu alat proses. Variabel-standard adalah seperangkat variabel hubungan sebab-akibatnya telah dinilai benar.

Verifikasi atau pengujian dilakukan kepada alat proses dengan cara

- memasukan variabel-sebab kepada alat proses yang akan diuji sehingga akan diperoleh variabel-akibat yang baru (variabel-akibat II).
- membandingkan variabel-akibat I, yang berasal dari variabel standard, dengan variabel-akibat II.
- menilai konsistensi dari rasio atau selisih kedua variabel akibat.

Untuk variabel-akibat yang berupa bilangan, penilaian proses dapat dinilai dengan indikator selisih variabel-akibat atau rasio variabel-akibat.

Bila harga selisih mendekati nol; atau harga rasio yang mendekati satu maka proses perhitungan atau relasi dinilai konsisten.

4.1 TINJAUAN PERBANDINGAN PROSES PERHITUNGAN

Sebelum dilakukan verifikasi proses program akan diuraikan perbedaan proses antara proses perhitungan Atkins Research and Development. (1978) dengan proses perhitungan dalam TA ini; sehingga dapat ditentukan variabel akibat mana saja yang akan dibandingkan.

Proses perhitungan untuk mengidentifikasi perilaku dinamis struktur dalam TA ini, dapat dipisah menjadi tiga langkah yaitu perhitungan beban gelombang, perhitungan persamaan gerak dan penyelesaian persamaan gerak. Karena terdapat beberapa macam perumusan yang dapat dipilih untuk tiap-tiap langkah maka dalam perancangan terdapat bermacam

kombinasi proses perhitungan. Pilihan-pilihan untuk melakukan analisa dinamis terhadap kasus struktur antara lain

- memilih pemodelan lumped atau pemodelan elemen hingga
- memilih domain waktu atau domain frekuensi
- memilih perumusan redaman dan kekakuan
- memilih pendekatan beban gelombang dan lain-lain.

Proses-proses perhitungan yang digunakan dalam Atkins Research and Development. (1978) antara lain;

- Untuk perhitungan beban gelombang dilakukan dengan teori Morison modifikasi, yaitu hanya menggunakan suku inersia, dengan koefisien difraksi mengganti koefisien inersia. Tujuannya untuk memperoleh parameter linier
- Untuk analisa dinamis digunakan spektra gelombang dan matriks – mode normal;

Sedangkan proses yang digunakan dalam TA ini adalah

- perhitungan beban gelombang dengan menggunakan teori difraksi
- untuk analisa dinamis digunakan penyelesaian persamaan diferensial linier tingkat dua.

Akibat perbedaan proses perhitungan, terdapat perbedaan domain perilaku gerak dinamis dan cara menyajikan respon dinamis. Dalam Atkins Research and Development. (1978) analisa dinamis menggunakan domain frekuensi. Kemudian dari proses perhitungan diperoleh spektra gelombang, spektra beban gelombang, spektra displacement.

Sedangkan analisa dalam TA ini perilaku gerak dinamis menggunakan domain waktu, akibat digunakannya penyelesaian persamaan diferensial linier tingkat dua. Sehingga parameter yang dapat dibandingkan adalah massa dan moment inersia sistem struktur, rasio redaman, kekakuan dan frekuensi natural.

Perilaku gerak (displacement) tidak dapat dibandingkan sehingga terdapat keterbatasan data untuk melakukan verifikasi. Akibat terbatasnya data untuk melakukan verifikasi program komputer maka dilakukan verifikasi paralel, yaitu dengan melakukan verifikasi terhadap masing langkah perhitungan. Verifikasi parsial dilakukan dengan menggunakan data dari beberapa kepustakaan.

4.2 VERIFIKASI PROGRAM KOMPUTER

Untuk melakukan verifikasi program komputer dengan data verifikasi yang terbatas akan dilakukan verifikasi paralel. Verifikasi paralel yang dimaksud adalah verifikasi yang dilakukan terhadap relasi paralel.

Proses perhitungan (formulasi) perilaku dinamis dalam TA ini dapat dibagi menjadi tiga langkah (perhitungan beban eksitasi - perhitungan komponen persamaan gerak - penyelesaian persamaan gerak) sehingga formulasi perilaku dinamis merupakan relasi paralel.

Dalam TA ini mula-mula dilakukan pemisahan terhadap program utama (grav13.for) sehingga terdapat tiga program yang terpisah.

- program perhitungan gelombang (ghor.for)



- program perhitungan komponen persamaan gerak (tanah.for)
- program penyelesaian persamaan gerak (dinam.for).

Dalam TA ini, uji konsistensi relasi (verifikasi) dilakukan bertahap terhadap tiga subprogram; masing-masing subprogram akan diuji dengan satu perangkat variabel standard. Berikut ini akan disebutkan variabel standard yang akan digunakan untuk melakukan verifikasi;

- untuk perhitungan beban gelombang digunakan data dari Sarpkaya (1981).
- untuk perhitungan komponen massa, redaman dan kekakuan digunakan data dari Atkins R&D (1978)
- untuk perhitungan penyelesaian persamaan gerak digunakan data dari Craig(1981).

Setelah diperoleh data, variabel sebab akan dijadikan sebagai data masukan program sehingga diperoleh keluaran (variabel akibat II).

Kemudian setelah keluaran (variabel akibat II) dibandingkan dengan variabel akibat I akan dinilai konsistensi relasi program.

Program fortran untuk mendapatkan beban gelombang dengan metoda difraksi telah dibuat dalam Tugas Akhir oleh Ghofur (1988).

Program ini selanjutnya dilengkapi dengan perhitungan moment guling akibat gelombang difraksi pada silinder.

4.2.1 Data Verifikasi

Data masukan (data verifikasi), relasi antara variabel dalam data verifikasi adalah sebagai berikut;

A. Untuk verifikasi subprogram perhitungan gelombang (ghoff.for), digunakan data kasus dari referensi Sarpkaya (1981) halaman 393 :

H	= 20 ft
T	= 6detik
kedalaman laut	= 60 ft
diameter struktur	= 40 ft.

B. Untuk verifikasi subprogram perhitungan komponen tanah (tanah.for) dan program utama (grav13.for), digunakan contoh kasus dari referensi Atkins R&D (1981) halaman 262 :

massa struktur dan isi	$2.4 \cdot 10^8 \text{ kg}$
jarak titik berat ke dasar laut	43.05 m
moment inertia struktur dan isi	$2.04 \times 10^{11} \text{ kgm}^2$
kedalaman	80 m
densitas air laut	1030 kg/m ³
densitas tanah	2000 kg/m ³
koefisien subgrade tanah	$7 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
angka poisson tanah	0.5
tinggi gelombang signifikan (Kasus 1)	2.0 m
frekuensi gelombang	0.18 Hz
tinggi gelombang signifikan 2 (Kasus2)	14.75 m
frekuensi gelombang	0.0098 Hz

Data contoh kasus dari Atkins R&D (1978) terdapat dua data gelombang.

Untuk data gelombang kasus satu akan dinyatakan sebagai kasus 1 atau kasus utama.

C. Untuk verifikasi subprogram perhitungan penyelesaian persamaan gerak (dinam.for), digunakan contoh kasus dari referensi Craig (1981). halaman 74 dan 81 :

$$\text{berat} = 38.6 \text{ lb-f} \text{ atau massa} = 0.1 \text{ lb}$$

$$k = 40 \text{ lb/in.}$$

$$u_0 = 0$$

$$u'_0 = 0$$

$$p(t) = 10 \cos (10 t)$$

$$\zeta = 0.2$$

4.2.2 Verifikasi Subprogram

Perbandingan antara hasil running program dengan hasil dari referensi disajikan dalam tabel 4.1, 4.2 dan 4.3(file keluaran program dalam lampiran A). Tabel 4.1 menyatakan perbandingan hasil perhitungan dari contoh kasus untuk perhitungan beban gelombang. Tabel 4.2 menyatakan perbandingan hasil perhitungan dari contoh kasus untuk perhitungan komponen persamaan gerak. Tabel 4.3 menyatakan perbandingan hasil perhitungan dari contoh kasus untuk penyelesaian persamaan gerak.

Tabel 4.1 Perbandingan hasil perhitungan beban gelombang difraksi

	Sarpkaya (1981)	hasil program ghor.for
kd	2.11	
k		0.04
λ		179.1
A(ka)	0.7	0.7
δ , beda fase (rad)	73.5	73.26
Cm	1.8	1.81
Fx	1370 kips	1374.472 kips
Moment guling	51710 kips-ft	51801.076 kips-ft
beda fase (detik)	1.2 detik	

Tabel 4.2 Perbandingan hasil properti dinamis

	Craig (1981)	hasil program dinam.for
frekuensi natural tidak teredam (ω_n)	20 rad/s	20
displacement statis (U_0)	0.25 in	0.25
rasio redaman (r)	0.5	0.5
displacement steady state (U)	0.32	0.32
beda fase (α)	0.26 rad	0.26
frekuensi natural teredam (ω_d)	19.6 rad/s	19.6
Amplitudo-1 gerakan alami A1	-0.31 in	-0.31
Amplitudo-2 gerakan A2	-0.11 in	-0.11

Tabel 4.3 Perbandingan hasil perhitungan komponen persamaan gerak

	AtkinsR&D (1978)	hasil program
massa tambah fluida	$1.62 \times 10^8 \text{ kg}$	0.1618×10^9
massa tanah	$1.58 \times 10^7 \text{ kg}$	0.1583×10^8
massa total	$4.18 \times 10^8 \text{ kg}$	0.4176×10^9
moment inersia struktur	$2.04 \times 10^{11} \text{ kgm}^2$	0.2000×10^{12}
moment inersia fluida	$8.64 \times 10^{10} \text{ kgm}^2$	0.8629×10^{11}
moment inersia tanah	$2.50 \times 10^{10} \text{ kgm}^2$	0.2500×10^{11}
moment inersia total	$3.51 \times 10^{11} \text{ kg/m}^2$	0.3506×10^{12}
kekakuan sliding	$6.87 \times 10^{10} \text{ N/m}$	$0.68799497 \times 10^{11}$
kekakuan rocking	$3.65 \times 10^{13} \text{ Nm /rad}$	0.3651×10^{14}
redaman sliding	0.086	0.08
redaman rocking	0.055	0.05

4.2.3 Verifikasi Progran Utama

Karena verifikasi subprogram perhitungan komponen persamaan gerak menggunakan data kasus yang sama dengan verifikasi program utama (kasus 1), maka data verifikasi untuk program utama merupakan gabungan data verifikasi tabel 4.3, yang terdiri dari komponen persamaan gerak, dan tabel 4.4 yaitu frekuensi natural tidak teredam sistem struktur.

Tabel 4.4 Perbandingan properti dinamis kasus utama

	AtkinsR&D(1978)	hasil program
frekuensi natural 1	0.52 Hz	0.514 Hz
frekuensi natural 2	2.56 Hz	2.72 Hz

4.3 ANALISA HASIL VERIFIKASI

Verifikasi teala dilakukan secara bertahap terhadap subprogram dan program utama, dengan menggunakan masukan dari satu contoh kasus (satu perangkat data verifikasi). Hasil program (variabel akibat II) memiliki harga yang mendekati data verifikasi, yang terdiri dari variabel-sebab dan variabel akibat. Sehingga dapat dinyatakan bahwa program grav13.for, yang menghubungkan relasi variabel-sebab dengan variabel akibat, memiliki relasi yang konsisten.

4.4 KASUS UNTUK STUDI PARAMETER

4.4.1 Studi Parameter Dengan Komputasi

Studi parameter kasus dalam TA ini bertujuan untuk mengetahui parameter mana yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap perubahan respon dinamis dan harga pengaruh parameter tersebut. Studi parameter dilakukan dengan cara membuat relasi antara data parameter yang divariasi, dengan variabel akibat.

Data variabel akibat (variabel terikat) untuk studi parameter dapat diperoleh dengan beberapa cara yaitu eksperimen, komputasi dan gabungan eksperimen-komputasi.

Studi parameter dalam TA ini akan menggunakan sarana komputer dan menggunakan program grav13.for (lihat list program dan file keluaran dalam lampiran A dan B). Keuntungan digunakannya cara komputasi adalah murah biaya, waktu untuk memperoleh hasil yang cepat.



Sedangkan kekurangan studi parameter dengan komputasi adalah tidak terakomodasinya ketidak-tentuan harga variabel dan pembakuan relasi pendekatan matematis (formula).

Dalam TA ini penulis menentukan

- data perancangan sebagai variabel-sebab (variabel bebas),
- data properti tanah dan karakteristik gelombang sebagai parameter, dan
- perilaku dinamis sebagai variabel-akibat (variabel terikat)

Studi parameter akan menggunakan data kasus1 (Atkins R&D, 1978).

Berikut ini adalah parameter yang akan divariasi :

- variasi data properti tanah, dengan variabel lainnya mengacu pada data kasus 1
- variasi data karakteristik gelombang dengan variabel lainnya mengacu pada data kasus 1

4.4.2. Variasi Data Parameter

Data properti tanah yang dijadikan parameter adalah angka poisson, subgrade modulus. Variasi angka poisson yang digunakan adalah 0, 0.3 dan 0.5. Variasi modulus subgrade (N/m^3) yang digunakan adalah 3×10^7 , 7×10^7 dan 1×10^8 . Tidak dilakukan variasi densitas tanah karena densitas tanah jenuh air (saturated) umumnya ditaksir sekitar 2000 kg/m^3 . Masukan data untuk studi properti tanah tersaji dalam tabel 4.5; adapun untuk file keluaran tersaji secara lengkap dalam lampiran B.

Tabel 4.5 Variasi data masukan untuk properti tanah

file hasil	file k11nds.dat	file kcb1nds.dat	file kcb2nds.dat	file kap1nds.dat	file kap2nds.dat
H	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75
T	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
d	80	80	80	80	80
R	25	25	25	25	25
m1	2.40E+08	2.40E+08	2.40E+08	2.40E+08	2.40E+08
Tinggi strk.	100	100	100	100	100
LG	43.05	43.05	43.05	43.05	43.05
ρ tanah	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
ν	0.5	0.5	0.5	0	0.3
Cu	7.00E+07	3.00E+07	1.00E+08	7.00E+07	7.00E+07

b. Data periode gelombang dari Atkins Research and Development (1978),

akan divariasi menjadi beberapa periode gelombang seperti tersaji dalam tabel 4.6 dengan mengacu pada tabel Parameter Jonswap Spectrum (lihat dalam lampiran C). Adapun untuk file keluaran komputasi tersaji secara lengkap dalam lampiran B. Untuk parameter dengan tinggi gelombang 14.75 m file keluaran akan dituliskan dengan memakai nama kwh(*)nds.dat. dimana (*) merupakan notasi angka yang menyatakan urutan tinggi gelombang. Sedangkan untuk parameter dengan tinggi gelombang =2m, file keluaran akan menggunakan nama kwl(*)nds.dat

Tabel 4.6 Properti gelombang laut

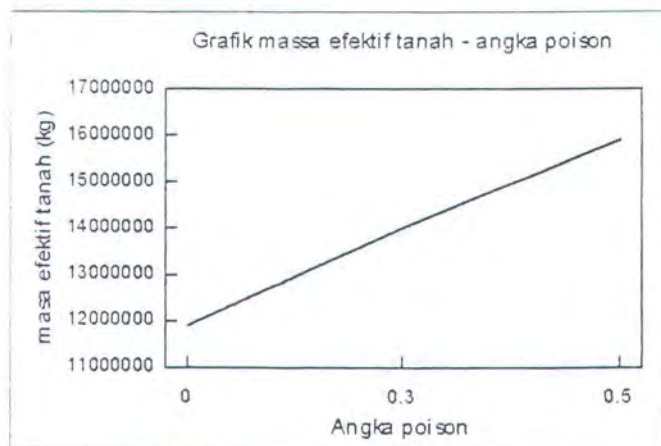
H gelombang (m)	Periode gelombang soal (detik)	Range periode (detik)	Periode yang dihitung (detik)
14.75	5.5	4 – 6	4, 5, 5.5, 6
2	10.2	8 – 15	8, 10, 12, 15

4.5 ANALISA HUBUNGAN PARAMETER DENGAN VARIABEL AKIBAT

Pada perumusan komponen persamaan gerak hanya terdapat satu variabel, untuk komponen massa efektif tanah dan rasio redaman yang menjadi variabel adalah angka poisson, untuk komponen kekakuan yang menjadi variabel adalah koefisien subgrade. Sedangkan dalam perumusan beban eksitasi gelombang terdapat dua variabel karakteristik gelombang, yaitu tinggi gelombang dan periode gelombang.

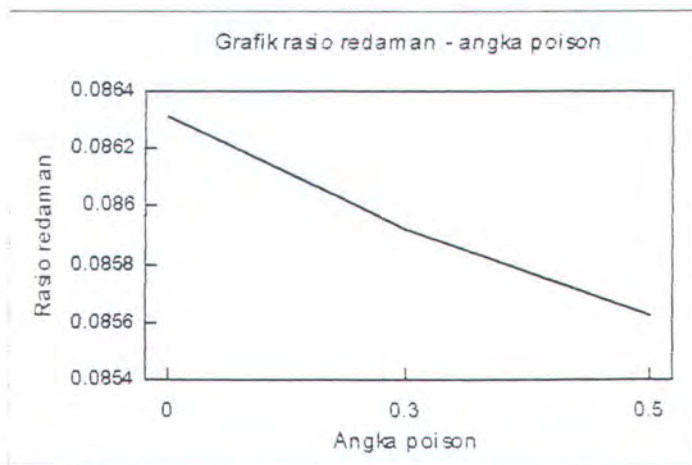
Berikut ini ditampilkan hubungan antara variasi parameter (properti tanah dan karakteristik gelombang) dengan variabel akibat (amplitudo kopel puncak struktur dan frekuensi natural)

A. Pengaruh angka poisson



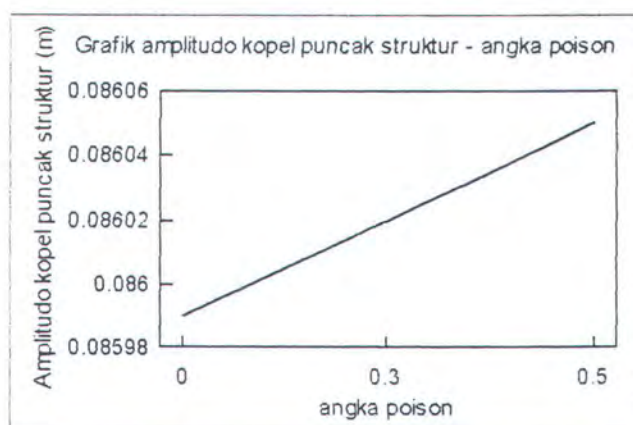
Gambar 4.1 Grafik sensitifitas massa efektif tanah terhadap angka poisson

Dari gambar 4.1 dapat dinyatakan bahwa terdapat hubungan antara angka poisson dengan massa efektif tanah; yaitu peningkatan angka poisson akan menyebabkan peningkatan harga massa tanah efektif dengan hubungan yang linier.



Gambar 4.2 Grafik sensitifitas redaman sliding tanah terhadap angka poisson

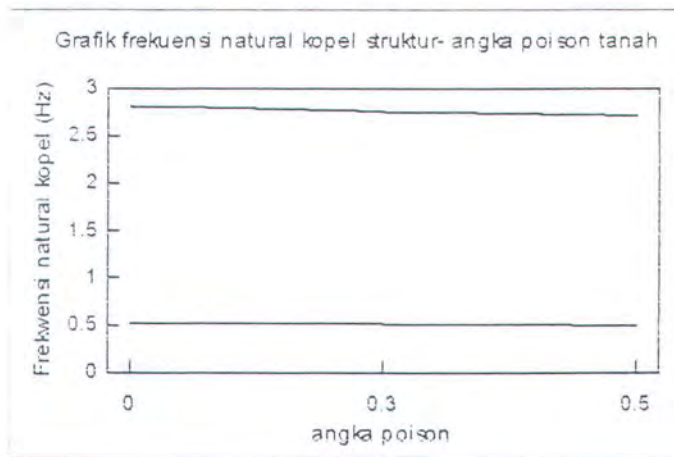
Dari gambar 4.2 dapat dinyatakan bahwa terdapat hubungan antara angka poisson dengan redaman; dengan hubungan linier yang berbanding terbalik dengan rasio redaman. Pengaruh angka poisson terhadap rasio redaman dinyatakan sangat kecil, hal ini berdasarkan relatif konstannya variasi harga rasio redaman hanya berada dalam kisaran 0.085-0.086 terhadap variasi angka poisson.



Gambar 4.3 Grafik sensitifitas amplitudo terhadap angka poisson

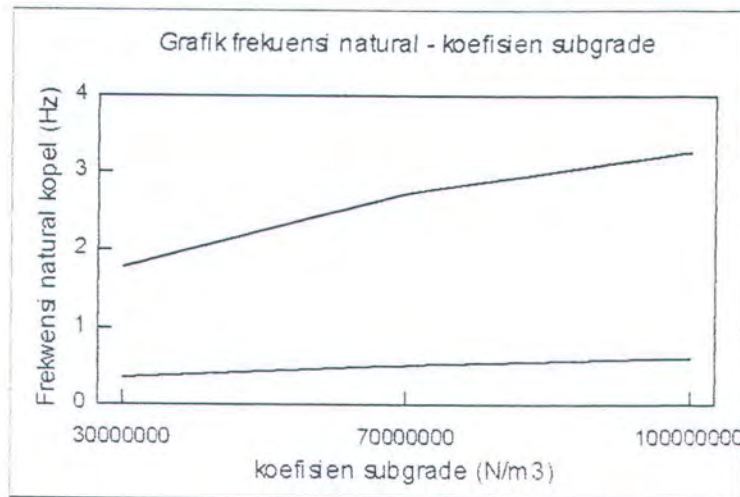
Dari gambar 4.3 dapat dinyatakan bahwa terdapat hubungan antara angka poison dengan amplitudo. Dari data studi parameter (tabel 4.7) diperoleh hubungan bahwa peningkatan angka poison sebesar 66% menyebabkan peningkatan amplitudo sebesar 0.03%. Sehingga disimpulkan pengaruh angka poison terhadap amplitudo sangat kecil.

Dari gambar 4.4 dapat dinyatakan bahwa hampir tidak terdapat pengaruh antara angka poison terhadap kedua frekwensi natural struktur (tidak teredam).



Gambar 4.4 Grafik sensitifitas frekuensi natural terhadap angka poison

hubungan bahwa peningkatan koefisien subgrade sebesar 233% menyebabkan penurunan amplitudo sebesar 70%.



Gambar 4.7 Grafik sensitifitas frekuensi natural terhadap koefisien subgrade

Dari gambar 4.7 dapat dinyatakan terdapat hubungan antara koefisien subgrade dengan frekuensi natural. Dari tabel 4.9 diperoleh hubungan bahwa peningkatan koefisien subgrade sebesar 223% akan menyebabkan peningkatan frekuensi natural sebesar 82%.

Tabel 4.7 Perhitungan studi parameter angka poisson

angka poisson	puncak (m)		Δ	%
0.00E+00	0.08599	amplitudo kopel	0.00003	0.034876
3.00E-01	0.08602	Cu (N/m ³)	0.2	66.66667
5.00E-01	0.08605			

angka poisson	wn1(hz)	wn2(hz)
0.00E+00	5.33E-01	2.80E+00
3.00E-01	5.22E-01	2.76E+00
5.00E-01	5.14E-01	2.72E+00

	$\Delta\omega 1$	%	$\Delta\omega 2$	%
wn (Hz)	-0.514	-100	-2.72	-100
angka poisson	-0.5	-100	-0.3	-100

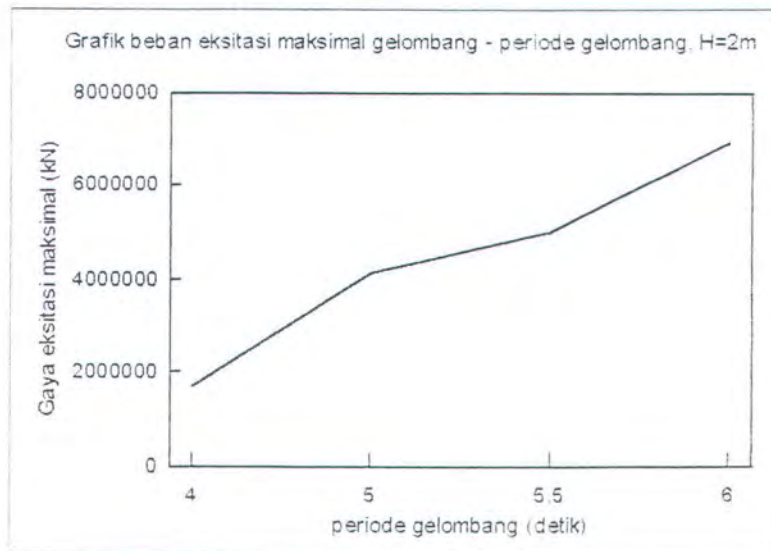
Tabel 4.8 Perhitungan studi parameter koefisien subgrade terhadap amplitudo

Cu (N/m ³)	puncak (m)		Δ	%
3.00E+07	0.2049	amplitudo kopel	-0.14493	-70.7321
7.00E+07	0.08605	Cu (N/m ³)	70000000	233.3333
1.00E+08	0.05997			

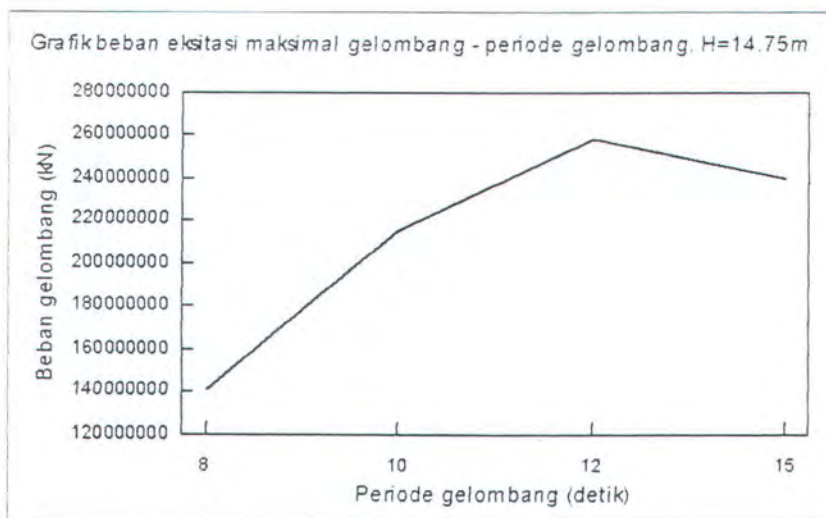
Tabel 4.9 Perhitungan studi parameter koefisien subgrade terhadap amplitudo

Cu (N/m ³)	wn1(hz)	wn2(hz)		$\Delta\omega 1$	%	$\Delta\omega 2$	%
3.00E+07	3.37E-01	1.78E+00	wn (Hz)	0.277	82.19585	1.47	82.58427
7.00E+07	5.14E-01	2.72E+00	Cu	70000000	233.3333	70000000	233.3333
1.00E+08	6.14E-01	3.25E+00					

C. Pengaruh data gelombang



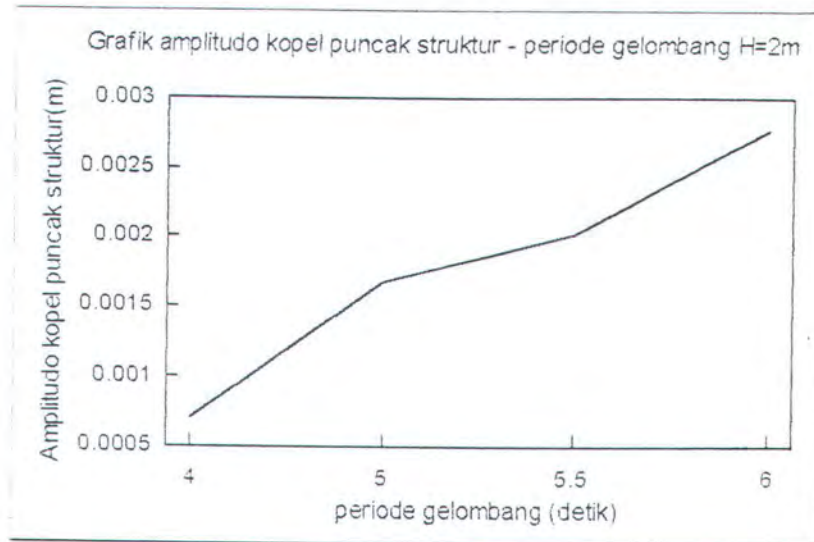
Gambar 4.8 Grafik sensitifitas beban gelombang terhadap periode gelombang
untuk $H = 2\text{m}$



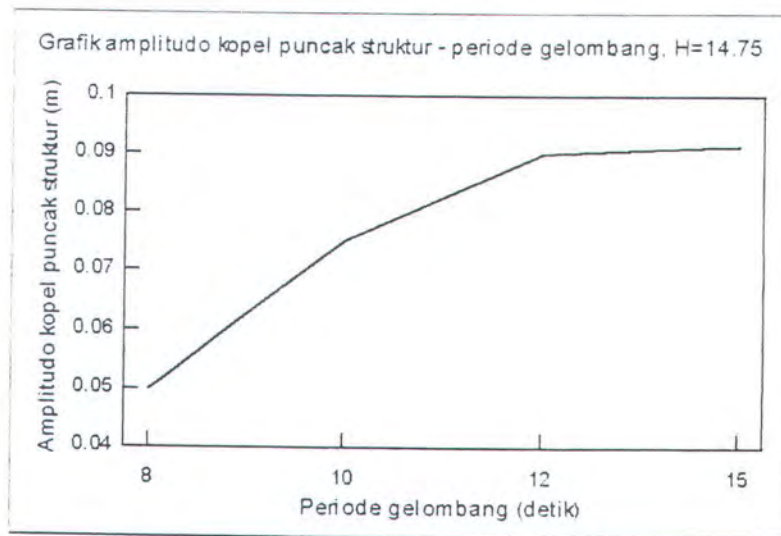
Gambar 4.9 Grafik sensitifitas beban gelombang terhadap periode gelombang
untuk $H = 14.75\text{m}$

Dari gambar 4.8 dan 4.9 dapat dinyatakan terdapat hubungan antara periode gelombang dan tinggi gelombang dengan beban gelombang; yaitu peningkatan harga parameter tinggi dan periode gelombang akan

menyebabkan peningkatan beban gelombang. Dari formulasi beban gelombang hal ini merupakan hubungan yang jelas.



Gambar 4.10 Grafik sensitifitas amplitudo struktur terhadap periode gelombang untuk $H = 2\text{m}$



Gambar 4.11 Grafik sensitifitas amplitudo struktur terhadap periode gelombang untuk $H = 14.75\text{m}$

Dari gambar 4.10 dan 4.11 dapat dinyatakan bahwa terdapat hubungan antara periode gelombang dengan amplitudo di puncak struktur. Dari data studi parameter tabel 4.10 disimpulkan bahwa peningkatan periode gelombang sebesar 50% pada gelombang dengantinggi kecil akan menyebabkan peningkatan amplitudo struktur sebesar 289%. Sedangkan untuk gelombang dengan tinggi gelombang besar peningkatan periode gelombang sebesar 87.5% menyebabkan peningkatan amplitudo gelombang sebesar 84.1%.

Tabel 4.10a Variasi tinggi gelombang terhadap periode gelombang

Untuk H=2m

Periode	puncak (m)
4	0.0007115
5	0.001685
5.5	0.002018
6	0.002769

Tabel 4.10b Prosentase perubahan parameter dengan variabel

	Δ	%
amplitudo kopel (m)	0.0020575	289.17
periode	2	50

Tabel 4.10c Variasi tinggi gelombang terhadap periode gelombang

Untuk H = 14.75m

Periode	puncak (m)
8	0.05535
10	0.08375
12	0.0991
15	0.1019

Tabel 4.10d Prosentase perubahan parameter dengan variabel

	Δ	%
amplitudo kopel	0.04655	84.1
periode	7	87.5

4.6 CATATAN TAMBAHAN TENTANG ANALISA STATIS

Perlu ditekankan bahwa analisa dinamis merupakan tahapan lanjut dalam suatu proses perancangan struktur gravitasi. Dalam prakteknya sebelum dilakukan analisa dinamis terdapat langkah-langkah awal yang harus dilakukan. Langkah-langkah tersebut antara lain;

- perhitungan daya dukung tanah
- perhitungan moment guling
- perhitungan gaya geser
- perhitungan settlement

4.6.1 Daya Dukung

Daya dukung menyatakan kekuatan tanah dalam mendukung struktur dari gaya-gaya yang bekerja pada struktur. Ketidak sesuaian antara daya dukung tanah, kekuatan material pondasi, dan beban akan menyebabkan kegagalan yang antara lain berupa terbenam struktur, kemiringan struktur, kegagalan pondasi, kelongsoran tanah. Sehingga faktor-faktor yang menentukan daya dukung

- besar tekanan yang berasal dari beban dan moment
- daya dukung tanah yang merupakan fungsi properti tanah (kohesi, gesek, tekanan lateral, berat tanah, tekanan efektif)

- kekuatan material dasar struktur atau pondasi (yield stress)

Terdapat banyak rumus perhitungan daya dukung tanah untuk pondasi dangkal. Untuk mengetahui besar daya dukung tanah dibutuhkan data properti tanah untuk beberapa kedalaman dari kasus sesungguhnya.

Karena tidak adanya data properti tanah yang cukup pada kasus di dalam TA ini maka untuk daya dukung tidak dibahas.

4.6.2.Settlement

Settlement adalah penurunan tanah akibat pembebanan, sehingga akan menyebabkan struktur terbenam secara alami. Dari jenis tanahnya analisa settlement dapat dibagi menjadi dua yaitu settlement tanah kohesif dan settlement tanah tidak kohesif. Sedangkan analisa settlement tanah kohesif di kelompokkan menjadi tiga yaitu

- penurunan segera (immediate settlement)
- penurunan konsolidasi
- penurunan sekunder

Settlement immediate adalah penurunan tanah yang segera atau langsung yang terjadi setelah instalasi struktur selesai dilakukan. Karena settlement ini akan sangat mempengaruhi redaman dan kekakuan maka penulis merasa perlu meninjau perhitungan settlement immediate ini.

Perhitungan settlement yang dilakukan adalah perhitungan immediate settlement, yang menggunakan rumus (Coduto, 1994);

$$\delta_d = q_0 B I_0 I_1 / E_u \dots \dots \dots (31)$$

di mana

$$q_0 = W / A$$

W = berat struktur

E_u = modulus elastisitas tanah

I_0 dan I_1 diperoleh dari grafik yang merupakan fungsi H/B , D/B dan bentuk penampang dasar pondasi (gambar 4.13).

H = jarak antara dasar pondasi dengan strata keras tanah.

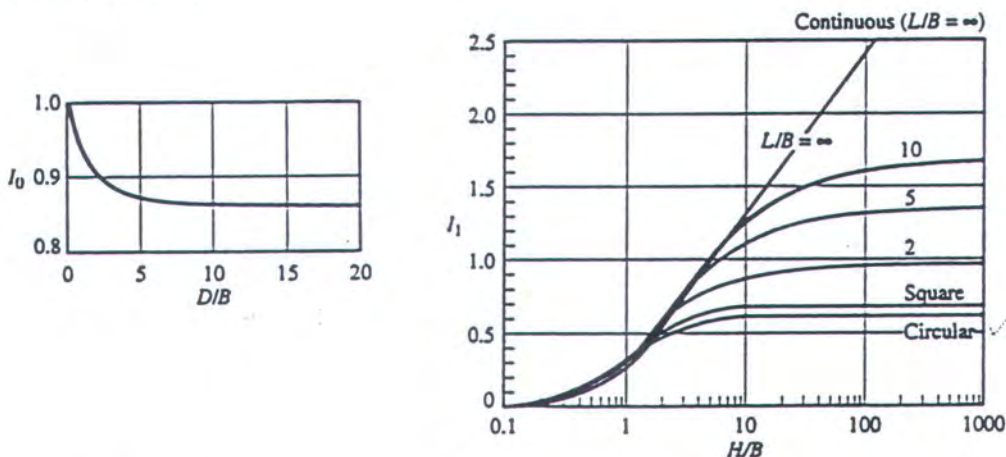
D = tebal pondasi

B = lebar pondasi

Sedangkan dari BOSS 1979 (Janbu, 1979) dinyatakan immediate settlement untuk struktur gravitasi adalah sebagai berikut :

$$\delta_d = \frac{3}{4} q_c B / E_u \dots \dots \dots (32)$$

$$q_c = q_0 (1 - I_0)$$



Gambar 4.12 Grafik untuk menentukan konstanta dalam perhitungan settlement

Kestabilan moment guling menyatakan bahwa sistem struktur dinyatakan aman bila beban moment lebih kecil dari kopel berat struktur dengan 1/6 lebar struktur (Tennese Valey Authority).

$$\text{beban moment} = 1.25 \times 10^{10}$$

$$\text{diameter struktur} = 50\text{m}$$

$$\text{Tahanan moment guling} = 2.4 \times 10^8 \times 9.81 \times 50/6 = 1.962 \times 10^{10}\text{kg}$$

Maka Tahanan moment guling > beban moment

Jadi kasus struktur dalam TA ini dianggap stabil dari beban sliding dan moment guling.

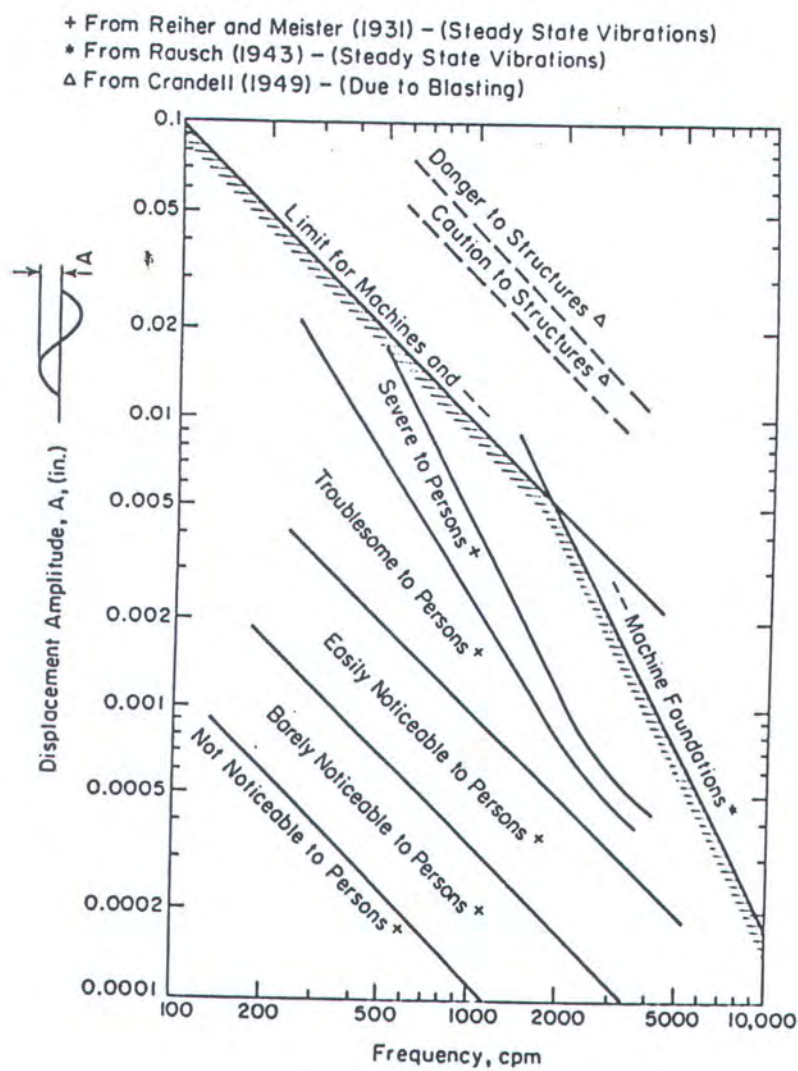
4.6.4 Catatan Pengaruh Getaran terhadap Peralatan dan Manusia

Getaran pada perancangan struktur diakomodasi dalam harga amplitudo gerakan struktur, yang menyatakan dimensi getaran struktur, dan frekuensi getaran struktur. Getaran dan frekuensi yang terjadi dalam sistem struktur merupakan akibat beban dinamis yang bekerja pada struktur.

Kriteria getaran dalam desain struktur selain terjadi tidaknya resonansi adalah kinerja sistem operasi di atas struktur. Getaran akan mempengaruhi umur permesinan dan kinerja manusia.

Berikut ini adalah grafik daerah pengaruh (gambar 4.13) untuk menentukan tingkat getaran yang terjadi dalam sistem struktur. Dengan menentukan amplitudo dan frekwensi yang terjadi dalam struktur akan diperoleh koordinat dalam grafik. Sehingga diperoleh skala pengaruh getaran yang sedang terjadi dalam struktur. Karena pada penerapannya

aktivitas manusia dan permesinan banyak terdapat di atas dek struktur maka amplitudo yang akan digunakan untuk menganalisa pengaruh getaran adalah amplitudo kopel pada puncak struktur.



Gambar 4.13 Klasifikasi daerah getaran

Dari gambar klasifikasi daerah getaran (gambar 4.15) dapat dinyatakan bahwa, daerah getaran yang dapat dianalisa memiliki kisaran harga frekuensi antara 100 sampai 10.000 cpm (cycle per minute) dan kisaran harga amplitudo antara 0.0001 sampai 0.1 inchi atau 2.54×10^{-6} sampai 2.54×10^{-3} m.

Sementara dari tabel parameter JONSWAP spectrum (lihat lampiran), ditunjukkan bahwa periode gelombang yang dapat terjadi (untuk lokasi laut Utara) berkisar antara 4 sampai 15 detik, atau bila digunakan kisaran frekuensi, gelombang akan memiliki kisaran frekuensi antara 0.06 sampai 0.25 Hz. Adapun untuk amplitudo struktur yang diperoleh dari perhitungan analisa dinamis disajikan dalam tabel 4.9 dan 4.10 amplitudo kopel pada puncak struktur dengan variasi waktu.

Tabel 4.11 variasi frekuensi dan amplitudo kopel untuk H=2m

periode gelombang (detik)	frekuensi (Hz)	Amplitudo kopel puncak (m)	Amplitudo kopel puncak (inchi)
4	0.25	0.000711	0.0275
5	0.2	0.001685	0.663
5.5	0.182	0.002018	0.0794
6	0.167	0.002769	0.109

Tabel 4.12 variasi frekuensi dan amplitudo kopel untuk H=14.75m

periode gelombang (detik)	frekuensi (Hz)	Amplitudo kopel puncak (m)	Amplitudo kopel puncak (inchi)
8	0.125	0.0553	2.17
10	0.1	0.08375	3.29
12	0.083	0.099	3.89
15	0.067	0.1019	4.01

Dari tabel diperoleh koordinat diluar kisaran daerah klasifikasi getaran, yaitu karakteristik frekuensi jauh berada disebelah kiri dan karakteristik amplitudo bervariasi. Untuk tinggi gelombang 2 m akan diperoleh amplitudo dalam kisaran dalam gambar 4.15 tetapi dengan frekuensi di luar gambar. Secara grafis koordinat pada kondisi ini jelas berada dibawah garis batas (garis yang diarsir); sehingga getaran pada kondisi $H=2m$ digolongkan aman. Sedangkan untuk koordinat dengan kondisi tinggi gelombang 14.75 m secara grafis berada di atas garis batas; yang artinya berada di daerah tidak aman. Maka pada kondisi $H=14.75m$ merupakan kondisi yang berbahaya bagi manusia, permesinan dan struktur.

memilih adalah seni menjadi manusia
melakukan sesuatu dengan kesungguhan adalah hal yang indah
melalui menit-menit bermasalah adalah hal indah yang mahal
karena terdapat arti di sana

(Kenji Goh)

5. SIMPULAN DAN SARAN

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 SIMPULAN

1. Perilaku dinamis seperti displasmen kopel, frekuensi natural pada struktur gravitasi berbentuk silinder tegak, terbenam sebagian, yang menerima beban gelombang, dapat diidentifikasi dengan komputasi program grav13.for dengan menggunakan data properti tanah (koefisien subgrade, angka poisson, berat jenis tanah) data perancangan yaitu (dimensi struktur, massa struktur) dan data karakteristik gelombang (tinggi dan periode gelombang).
 2. Dari komputasi program grav13.for (dalam lampiran file k11nds.dat) disimpulkan bahwa kasus struktur dengan kondisi gelombang yang ditinjau dalam TA ini memiliki karakteristik sebagai berikut ;
 - frekuensi natural tidak teredam sliding = 1.444 Hz
 - frekuensi natural tidak teredam rocking = 0.938 Hz
 - frekuensi natural kopel primer = 0.501 Hz
 - frekuensi natural kopel sekunder = 2.70 Hz
 - Amplitudo sliding murni pada titik berat = 0.006473 m
 - Amplitudo rocking murni pada titik berat = 0.001038 rad
 - Amplitudo sliding kopel pada titik berat = 0.04072 m
 - Amplitudo rocking kopel pada titik berat = 0.0007960 rad
 - Amplitudo sliding kopel pada puncak = 0.08605 m
- Sehingga untuk karakteristik gelombang pada kasus ($T=5.5$ detik dan $T=10.2$ detik atau frekuensi 0.18 Hz dan 0.098 Hz) struktur tidak mengalami resonansi.

3. Dari analisa statis diperoleh informasi bahwa setelah instalasi, struktur akan mengalami settlement seketika (immediate settlement) sebesar 0.1m.
 4. Dari analisa statis dapat dinyatakan bahwa struktur masih stabil terhadap moment guling kritis dan gaya geser kritis untuk kondisi gelombang 14.75m.
 5. Dengan menggunakan grafik daerah pengaruh getar, kasus dalam TA ini mengalami perpindahan tingkatan pengaruh. Pada tinggi gelombang 2m struktur masih dapat dinyatakan aman dan pada kondisi tinggi gelombang 14.75 m struktur berada diluar daerah aman.
 6. Dari studi parameter properti tanah dapat disimpulkan bahwa koefisien subgrade merupakan parameter yang lebih signifikan dibandingkan parameter angka poisson. Hal ini disebabkan karakteristik struktur pada kasus yaitu besarnya dimensi struktur (penampang) dan besarnya massa struktur. Massa efektif tanah, yang merupakan fungsi dari parameter poisson, relatif kecil bila dibandingkan dengan massa struktur. Adapun rasio redaman merupakan fungsi yang berbanding terbalik dengan massa sistem; sehingga pada kasus yang memiliki massa struktur besar, signifikansi angka poisson, yang diakomodasi dalam massa efektif tanah, semakin kecil.
- Sedangkan koefisien subgrade tanah (dalam kasus TA) merupakan parameter signifikan karena struktur yang memiliki karakteristik

penampang bidang interaksi dengan tanah luas. Sehingga kekakuan yang merupakan fungsi koefisien subgrade akan menjadi besar.

7. Pada kasus dalam TA ini pengaruh variasi angka poisson yang kecil terhadap massa sistem dan redaman menyebabkan perilaku dinamis struktur tidak banyak bervariasi. Salah satu contoh adalah pada gambar 4.3 dan 4.4 kenaikan angka poisson sebesar 66% menyebabkan kenaikan amplitudo kopel puncak struktur sebesar 0.03% dan penurunan frekuensi natural sebesar 1.5%
8. Pada kasus dalam TA ini pengaruh variasi koefisien subgrade yang besar terhadap kekakuan menyebabkan perilaku dinamis struktur banyak bervariasi. Salah satu contoh adalah pada gambar 4.6 dan 4.7 kenaikan koefisien subgrade sebesar 233% menyebabkan penurunan amplitudo kopel puncak struktur sebesar 70% dan peningkatan frekuensi natural sebesar 82.58%
9. Dari studi parameter karakteristik gelombang, yang menggunakan komputasi, terhadap kasus dalam TA ini disimpulkan bahwa untuk kondisi tinggi gelombang kecil kenaikan periode gelombang sebesar 50% akan menyebabkan kenaikan amplitudo gerakan kopel pada puncak struktur sebesar 298%. Sedangkan untuk kondisi tinggi gelombang besar kenaikan periode gelombang sebesar 87% akan menyebabkan kenaikan amplitudo gerakan kopel pada puncak struktur sebesar 84%

Sedangkan untuk kondisi tinggi gelombang besar, kenaikan perioda gelombang sebesar 87.5% akan menyebabkan kenaikan amplitudo kopel padapuncak struktur sebesar 84.1 %

5.2 SARAN

Penulis melihat banyak kemungkinan pengembangan proses analisa sistem fluida-struktur-tanah seperti

- dengan menggunakan metode penyelesaian persamaan gerak yang berbeda
- dengan memvariasi bentuk struktur
- dengan menerapkan domain frekwensi (spektra, Fast Fourier Transform)
- dengan mengembangkan kasus gelombang random
- dengan menambah massa lumped
- dengan menambah derajat kebebasan
- dengan menggunakan pemodelan yang lebih teliti (FEM, BEM, FDM).

Sehingga diharapkan khalayak yang memiliki kepentingan dalam analisa struktur laut, dapat mengapresiasi ilmunya.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkins Research and Development. 1978. Dynamics of Marine Structures. Report UR8. Edisi 2. London : Ciria Underwater Engineering Group.
- Barkan D.D. 1962. Dynamics of Bases Fondations. NewYork : McGraw-Hill Book Company.
- Bowles Joseph E. 1992. Analisis dan Desain Pondasi. jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- Brebbia C.A. dan Walker S. 1979. Dynamic Analipsis of Offshore Structures. London : Newnes Butterworths.
- Chakrabarti S. K. 1987. Hydrodynamics of Offshore Structures. Boston : Computational Mechanics Publications
- Clough Ray W., Panzien Joseph. 1993 Dynamic of Structures. edisi II. Singapore : McGraw-Hill International.
- Coduto Donald P. 1994. Fondation Design Principles and Practices. NewJersey : Prentice Hall.
- Cook David I., Pierce Donald N. 1960. Engineering Mechanics-Statics. Pennsylvania : International Textbook Company.
- Craig Roy R. Jr. 1981. Strucktural Dynamics. NewYork : John Wiley & Sons.
- Das Braja M., 1983. Fundamentals of Soil Dynamics. NewYork : Elsevier.
- Doyle James F. 1991. Static and Dynamic Analysis of Structure. Dordecht : Kluwer Academic Publisher.
- Faltinsen O.M. 1990. Sea Loads on Ships and Offshore Structure. Cambridge : Cambridge University Press.
- Ferts Demeter G. 1973. Dynamics and Vibration of Structures. New York : John Wiley & Sons.
- Fjeld S. 1979. Concrete Structure. West European Graduate Education MarineTechnology IInd. WegenIngen : Tecnical University Aachen Netherlands Ship Model Basin.
- Fox Robert W., Mc Donald Alat T. 1985. Introduction to Fluid Mechanics Singapore : John Wiley & Sons Inc.
- Ghofur Abdul. 1988. Teori Difraksi Untuk Penentuan Gaya Gelombang. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Gorwick Jr Ben C. 1986. Construction of Offshore Structures. NewYork : John Willey and Sons.
- Hahn G.D. 1992. "Sensitivity of The Dynamic Response of Simple Offshore Structural Models". Ocean Engeneering. vol. 19, No3, Pergamon Press Ltd, 1992.
- He Y.Q., Bi J.J., Haritos N., Hydrodynamics Forces and Interactions of Multiple Circular Cylindrical Structure-Fluid-Soil System, Applied Ocean Research, Elsevier Science Publisher Ltd, 1992.
- Housner George W., Hudson Donald D. 1961. Applied Mechanics Statics. New Jersey : Van Nostrand Reinhold.

- Hurty Walter C., Rubenstein R.T. 1967. Dynamics of Structures. New Delhi : Prentice-Hall of India Private Limited.
- Lambe T. William, Whitman Robert V. 1969. Soil Mechanics. NewYork : John Wiley & Sons.
- Nataraja R., Kirk CX.L., Dynamics Response of a Gravity Platform Under Random Wave Forces, Offshore Technology Conference, Houston, 1977.
- Paz Mario 1996. Dinamika Struktur. Jakarta : Erlangga.
- Phelan Richard M. 1967. Dynamics of Machinery. NewYork : Mc Graw-Hill Book Company.
- Prakash Shamser, Puri Vijay K. 1988. Fondation for Machine Analysis and Design. Toronto : John Wiley and Sons.
- Pratikto W.A. 1988. Hidrodinamika Dasar. Yogyakarta: BPFE.
- Pratikto W.A., Murdjito. 1995. Analisa Dinamis Struktur Jack-Up Platform dan Riser dengan Kajian Matematis. Surabaya: Lemlit ITS, Program Studi Kelautan FTK.
- Richart F.E., Hall J.R., Woods, R.D. 1970. Vibrations of Soil and Fondations. New Jersey : Prentice Hall Int.
- Sarpkaya Turgut dan Isaacson Michael. 1981. Mechanics of Wave Forces On Offshore Structures. NewYork : Von Nostrand Reinhold.
- Simatupang Togar M. 1995. Pemodelan Sistem. Klaten: Nindita
- Srinivasulu P., Vaidyanathan C.V. 1977. Handbook of Machine Foundations. NewDelhi : Tata McGraw-Hill
- Whitman Robert V., Soil-Platform Interaction, BOSS, The Norwegian Institute of Technology, 1976,
- Winterkorn Hans F., Fang Hsai Yang. 1975. Foundation Engineering Hand Book. NewYork : Van Nostrand Reinhold. NewYork.
- Wolf John P. 1988. Soil Structures Interaction Analysis in Time Domain. NewJersey : Prentice Hall.
- Zienkiewicz O.C., Lewis R.W., Stagg K.G. 1978. Numerical Methods in Offshore Engineering. Chicester : Wiley.

bila tantangan kita lebih besar, berat dan kuat daripada kita
kita dapat memilih
maju sebagai badak dengan resiko mati
atau mundur, aman tetapi kita bukan pejuang

(Big fight, Spencer for Hire)

LAMPIRAN A

```

c$noext
c Februari 13 99
c program perhitungan perilaku dinamis
c interaksi sistem fluida-struktur-tanah
c struktur gravitasi berbentuk silinder tegak
c akibat beban eksitasi
c dalam time domain

      implicit real*8(a-h,o-y)
C      INPUT GHOFF
c      write(*,*)'periode(detik) '
c      read(*,*)t
c      write(*,*)'depth(m) '
c      read(*,*)d
c      write(*,*)'jari-jari(m) '
c      read(*,*)r
c      write(*,*)'tinggi gel(m) '
c      read(*,*)h
c      write(*,*)'jumlah suku besel'
c      read(*,*)n
C      INPUT TANAH
c      write(*,*)'berat struktur(kg) '
c      read(*,*)aml
c      write(*,*)'tinggi struktur(m) '
c      read(*,*)atg
c      write(*,*)'jarak titik berat struktur dari dasar(m) '
c      read(*,*)alg
c      write(*,*)'berat jenis tanah(kg/m3) '
c      read(*,*)rhot
c      write(*,*)'angka poisson'
c      read(*,*)apoi
c      write(*,*)'koefisien subgrade tanah(N/m3) '
c      read(*,*)cbar
C      INPUT DINAMIS
c      write(*,*)'init time disp(detik) '
c      read(*,*)atd
c      write(*,*)'init displ(m) '
c      read(*,*)abd
c      write(*,*)'init time vel(detik) '
c      read(*,*)atv
c      write(*,*)'init displ(m/detik) '
c      read(*,*)av
C DATA CONTOH
      t=10.2
      d=80
      r=25
      h=14.75
      n=9
      aml=240000000
      atg=100
      alg=43.05
      rhot=2000
      apoi=.5
      cbar=7e7
      atd=0
      abd=0
      atv=0
      av=0
      sret=720
      sol=2
      emb=0

      write (*,*)('perhitungkan masa efektif tanah (y=1): ','\')
      read(*,*)met
      write (*,*)('perhitungkan redaman tanah (y=1) : ','\')
      read(*,*)red
c      write (*,*)('ada embadement (y=1) : ','\')
c      read(*,*)sol

```

```

c      if(sol.eq.1)then
c      write (*, '('embadement = : ',\')')
c      read(*,*)emb

      open (3,file='c:\data\for\ktstdt.dat')
      open (5,file='c:\data\for\ktstnds.dat')
      open (9,file='c:\data\for\ktstds.dat')

      write(3,216)
216    format('periode ',\ )
      write(3,227)t
227    format(1x,e10.4)
      write(3,238)
238    format('kedalaman ',\ )
      write(3,249)d
249    format(1x,e10.4)
      write(3,250)
250    format('radius struktur ',\ )
      write(3,261)r
261    format(1x,e10.4)
      write(3,272)
272    format('tinggi gelombang ',\ )
      write(3,283)h
283    format(1x,e10.4)
      write(3,294)
294    format('ordo Bessel ',\ )
      write(3,305)n
305    format(1x,i3)
      write(3,316)
316    format('berat struktur ',\ )
      write(3,327)aml
327    format(1x,e10.4)
      write(3,338)
338    format('Tinggi struktur ',\ )
      write(3,349)atg
349    format(1x,e10.4)
      write(3,350)
350    format('jarak titik berat struktur dari dasar struktur',\ )
      write(3,361)alg
361    format(1x,e10.4)
      write(3,372)
372    format('berat jenis tanah ',\ )
      write(3,383)rho
383    format(1x,e10.4)
      write(3,394)
394    format('angka poisson ',\ )
      write(3,405)apoi
405    format(1x,e10.4)
      write(3,416)
416    format('koefisien subgrade ',\ )
      write(3,427)cbar
427    format(1x,e10.4)
      write(3,438)
438    format('waktu terjadi displacment inisial ',\ )
      write(3,449)atd
449    format(1x,e10.4)
      write(3,450)
450    format('displecment inisial ',\ )
      write(3,461)abd
461    format(1x,e10.4)
      write(3,472)
472    format('waktu terjadi velocity inisial ',\ )
      write(3,483)atv
483    format(1x,e10.4)
      write(3,494)
494    format('velocity inisiasi ',\ )
      write(3,505)av

```



```

505     format(1x,e10.4)
       write(3,516)
516     format('pilihan analisa dengan pembenaman (ya=1) ',\ )
       write(3,*)sol
c527     format(1x,*)
       write(3,538)
538     format('kedalaman pembenaman struktur ',\ )
       write(3,549)emb
549     format(1x,e10.4)
       write(3,550)
550     format('pilihan digunakan massa efektif tanah ',\ )
       write(3,*)met
c561     format(1x,*)
       write(3,572)
572     format('pilihan digunakan redaman tanah ',\ )
       write(3,*)red
c583     format(1x,*)

       g=9.81
       rho=1030
       pi=3.14159265

       call ghoff(amom,pi,g,rho,fg,t,d,r,h,n)
       call tanah(sol,pi,rho,abm,sebh,abk,aml,am2,am3,rhot,apci,cbar,d
+ ,r,atg,alg,ai,aki,sith,tbsb,met,red,ai0,emb,knt)
       call dinamis(amom,t,ap,fg,abm,abk,sebh,k,atd,abd,atv,av,ai
+ ,aki,sith,atg,alg,red,sret,ai0,gam,g,knt)
       stop
       end

```

C SUBROUTINE GHOFF

```

subroutine ghoff(amom,pi,g,rho,fg,t,d,r,h,n)
implicit real*8(a-h,o-y)

```

c mencari panjang gelombang

```

p=15
ow=2*pi/t
9      akl=p
       ba=akl*d
       p=ow**2/(g*dtanh(ba))
       if(dabs(p-akl).lt.0.000001)goto15
       goto9

```

c hasil k, l, d/l

```

15     write(5,13)
13     format('      k      =',\ )
       write(5,12)p
12     format(1x,f10.6)
       pp=2*pi/p
       write(5,131)
131    format('lamda  =',\ )
       write(5,121)pp
121    format(1x,f10.6)
       drpl=2*r/pp
       write(5,231)
231    format('B/lamda=',\ )
       write(5,221)drpl
221    format(1x,f10.6)
       dep11=d/pp

```

c mencari harga besel jenis 1,2 dan turunannya

```

       write(5,3)
3      format(/,1x,'-----',
+ '-----',/,
+ 6x,'y1',9x,'y1 aks',7x,'j1',9x,'j1 aks',/,
+ 1x,'-----',/)
       b=0

```

```

        b1=0
        bk=0
        d4=0
        ae=0
        ah=0
        am=0
        amm=0
        fac=1
        fac1=1
c looping = jumlah suku besel
        do 40 j=0,n
            if(j.eq.0) goto 50
            fac=fac*j
50         fac1=fac1*(j+1)
            if(j.eq.0) goto 55
            b1=1/float(j)
55         b=b-b1
            m=j-1
            bk1=1/float(m)
77         bk=bk+bk1
            x=p*r
            d3=x/2

            bj1=(-1)**j
            a1=2*j+1
            ab=2**a1
            ac=x**a1
            ad=fac*fac1*ab
            am1=bj1*ac/ad

            dr=2*dlog10(d3)
            d4=d4+bk1+b1
            df=dr+1.1544-d4

            ac1=bj1*ac*df/ad
            ae=ae+ac1
            ae*pi=0.3183099*ae

            aal=2*j
            acc=x**aal
            am2=bj1*a1*acc/ad

            af=bj1*a1*acc*df/ad
            po=2.7182818
            ag=2/x*dlog10(po)
            agg=bj1*ac*ag/ad
            ah1=af+agg
            ah=ah+ah1
            ahah=ah/pi
            ag1=x**2
            agh=2/pi/ag1

            ay1=ae*pi-(2/x/pi)
            y1aks=ahah+agh
            am=am+am1
            amm=amm+am2

            write(5,95) ay1,y1aks,am,amm
85         format(1x,f10.6,2x,f10.6,2x,f10.6,2x,f10.6)
40         continue

c harga A(ka), delta, cm
        write(5,95)
95         format(/,4x,'a(ka)',7x,'delta',8x,'cm')
            ak=dsqrt(amm**2+y1aks**2)
            aka=1/ak
            adelta=datan(y1aks/amm)
            delta=adelta*180/pi

```

```

cwa=(r*p)**2
cm=4/ak/pi/cwa
write(5,100) aka, delta, cm
100 format(1x,f10.6,1x,f10.6,1x,f10.6)

c menghitung resultan gaya geser gelombang Fx
pdr=p*d
sor=dcosh(pdr)
tetap=pi*rho*g*h*p*(r**2)/2
konst=pi*rho*g*h*(r**2)/2
hip=dtanh(pdr)
fg=konst*hip*cm
l=2*pi/p
pandet=rho*pi**2*h*l*r**2/t**2

```

```

c menghitung moment maks M
amsa=pdr*sinh(pdr)+1-cosh(pdr)
amsb=pdr**2*cosh(pdr)
amom=2*aka/p*rho*g*h*d**2*amsa/amsb

write(5,413)
413 format(/,'ftot-x(N)=' ,\ )
write(5,412) fg
412 format(1x,e10.4)
write(5,713)
713 format(/,'Mtot-y(N-m)=' ,\ )
write(5,712) amom
712 format(1x,e10.4)
return
end

```

C SUBROUTINE TANAH

```

subroutine tanah(sol,pi,rho,abm,sest,abk,am1,am2,am3,rhot,apoi
+,cbar,d,r,atg,alg,ai,aki,sith,tbsb,met,red,ai0,emb,knt)
implicit real*8(a-h,o-y)

```

C ALTER MASA TANAH 1

```

if(met.eq.1) then
goto 654
else
goto 655
endif

```

c massa dengan masa dan inertia efektif tanah

```

654 am2=d*rho*pi*r**2
am3=0.76*rhot*r**3/(2-apoi)
abm=am1+am2+am3
c math radius half spherical
tbsb=(am3*3/2/pi/rhot)**0.333333
ai1=am1*atg**2/12
ai2=am2*d**2/12
ai3=0.64*rhot*r**5/(1-apoi)
ai0=ai1+ai2+ai3
ai=ai1+ai2+ai3+am2*abs(alg-d/2)**2+am3*(tbsb*3/8+alg)**2
goto 656

```

c masa tanpa masa efektif tanah

```

655 am2=d*rho*pi*r**2
abm=am1+am2
am3=0
ai3=0
ai1=am1*atg**2/12
ai2=am2*d**2/12
ai0=ai1+ai2
ai=ai1+ai2+am2*abs(alg-d/2)**2

```



```

        goto 656

c rasio redaman
656      sb=abm/(rhot*r**3)
        seth=0.31/sb**0.5
        ainr=ai
        binr=ainr/rhot/r**5
        sith=0.05+0.1/binr**0.5/(1+binr/4)

C ALTER REDAMAN (seth)
        if (red.eq.1) then
            knt=1
            goto 6565
        else
            seth=0
            sith=0
            knt=2
            goto 6565
        endif

c stiffness x SF 50% dan 33.33%
6565     abk=cbar*pi*r**2/2/2
        aki=1.7*cbar*pi*r**4/4/3

C ALTER EMBADMENT
        if (sol.eq.1) then
            cfkx=1+0.55*(2-apoi)*emb/r
            cfkr=1+1.2*(1-apoi)*emb+0.2*(2-apoi)*(emb/r)**3
            abk=abk*cfkx
            aki=aki*cfkr
            cfrr=(1+1.9*(2-apoi)*emb/r)/(cfkx)**0.5
            cfrr=(1+0.7*(1-apoi)*emb/r+0.6*(2-apoi)*(emb/r)**3)/cfkr
            seth=seth*cfrr
            sith=sith*cfrr

        endif

        write(5,101)
101      format(/,'m struk (kg) =',\ )
        write(5,102) am1
102      format(1x,e10.4)
        write(5,103)
103      format('m tambah (kg) =',\ )
        write(5,104) am2
104      format(1x,e10.4)
        write(5,105)
105      format('m eff-tanah(kg) =',\ )
        write(5,106) am3
106      format(1x,e10.4)
        write(5,13)
13      format('M tot(kg) =',\ )
        write(5,14) abm
14      format(1x,e10.4)
        write(5,15)
15      format('c /Ccr (x) =',\ )
        write(5,16) seth
16      format(1x,f10.9)
        write(5,17)
17      format('Kx(stiffness) (N/m) =',\ )
        write(5,18) abk
18      format(1x,e10.4)

        write(5,8101)
8101     format(/,'inertia strk. (kg-m2) =',\ )
        write(5,8102) ai1
8102     format(1x,e10.4)
        write(5,8103)
8103     format('inertia fluida (kg-m2) =',\ )

```

```

      write(5,8104)ai2
8104   format(1x,e10.4)
      write(5,8105)
8105   format('inertia eff-tanah(kg-m2)=' ,\ )
      write(5,8106)ai3
8106   format(1x,e10.4)
      write(5,813)
813    format('Inertia tot (kg-m2)=' ,\ )
      write(5,814)ai
814    format(1x,e10.4)
      write(5,815)
815    format('c/Cor (rock) =' ,\ )
      write(5,816)sith
816    format(1x,f10.9)
      write(5,817)
817    format('Kr(stiffness) (Nm/rad)=' ,\ )
      write(5,818)aki
818    format(1x,e10.4)
      return
      end

```

C SUBROUTINE DINAMIS

```

      subroutine dinamis(amom,t,ap,fg,abm,abk,sech,k,atd,abd,atv,av
+,ai,aki,sith,atg,alg,red,sret,ai0,gam,g,knt)
      implicit real*8(a-h,o-y)
      pi=3.141592654

c properti dinamis sliding
      omp=2*pi/t
      acr=(abk*abm)**0.5*2
      omn=(abk/abm)**0.5
      omd=omn*(1-sech**2)**0.5
      ro=omp/omn
      ap=fg
      uob=ap/abk
      uk=uob/( (1-ro**2)**2+(2*sech*ro)**2)**0.5
      alf=atan(2*sech*ro/(1-ro**2))

c properti dinamis rocking
      acri=(aki*ai)**0.5*2
      omni=(aki/ai)**0.5
      omdi=omni*(1-sith**2)**0.5
      roi=omp/omni
      api=amom
      ubi=api/aki
      ubi=ubi/( (1-roi**2)**2+(2*sith*roi)**2)**0.5
      alfi=atan(2*sith*roi/(1-roi**2))

c mencari A1, A2 fungsi displacement
657   a=cos(omd*atd)
      bo=sin(omd*atd)
      c=(abd-ub*cos((omp*atd-alf)))/exp(-sech*omn*atd)
      do=-sech*omn*cos(omd*atv)-omd*sin(omd*atv)
      e=omd*cos(omd*atv)-sech*omn*sin(omd*atv)
      fo=(av+omp*ub*sin((omp*atv-alf)))/exp(-sech*omn*atv)

      adu=(c*do-a*fo)/(bo*do-a*e)
      asa=(c-bo*adu)/a

      tnat=2*pi/omn
      tdam=2*pi/omd

      aiz=cos(omdi*atd)
      biz=sin(omdi*atd)
      ciz=(abd-ubi*cos((omp*atd-alfi)))/exp(-sith*omni*atd)
      diz=-sith*omni*cos(omdi*atv)-omdi*sin(omdi*atv)
      eiz=omdi*cos(omdi*atv)-sith*omni*sin(omdi*atv)

```

flz=(av+omp*ubi*sin((omp*atv-alfi))/exp(-sith*omni*atv)

adu1=(ciz*diz-aiz*flz)/(biz*diz-aiz*elz)

asa1=(ciz-biz*adu1)/aiz

goto 659

C ALTER REDAMAN 3 (SSR)

659 xub=xub

xubi=xubi

ffp=omp/2/pi

ffn=omn/2/pi

ffd=omd/2/pi

ffni=omni/2/pi

ffdi=omdi/2/pi

write(5,17)

17 format(/,'U-x (SSR) (m)=',\)

write(5,18)xub

18 format(1x,f10.6)

write(5,911)

911 format(/,'frekwensi gaya gelombang (Hz)=',\)

write(5,912)ffp

912 format(1x,f7.3)

write(5,11)

11 format('frekwensi natural-x (Hz)=',\)

write(5,12)ffn

12 format(1x,f7.3)

write(5,21)

21 format('frekwensi teredam-x (Hz)=',\)

write(5,22)ffd

22 format(1x,f7.3)

write(5,15)

15 format('rasio frekwensi =',\)

write(5,16)ro

16 format(1x,f9.6)

write(5,819)

819 format('alfa-x=',\)

write(5,820)alf

820 format(1x,f13.6)

write(5,417)

417 format(/,'U-r (SSR) (rad)=',\)

write(5,418)xubi

418 format(1x,f10.6)

write(5,4911)

4911 format(/,'frekwensi gaya gelombang (Hz)=',\)

write(5,4912)ffp

4912 format(1x,f7.3)

write(5,411)

411 format('frekwensi natural-r (Hz)=',\)

write(5,412)ffni

412 format(1x,f7.3)

write(5,421)

421 format('frekwensi teredam-r (Hz)=',\)

write(5,422)ffdi

422 format(1x,f7.3)

write(5,415)

415 format('rasio frekwensi-r (Hz)=',\)

write(5,416)roi

416 format(1x,f9.6)

write(5,4819)

4819 format('alfa-r=',\)

write(5,4820)alfi

4820 format(1x,f13.6)

write(9,103)


```

103      format (/1x, '-----',
+ '-----', /
+1x, 'det', 6x, 's.fase', 3x, 'disp-x(m)', 5x, 'disp-rad', 4x, /,
+1x, '-----', /)

c coupled angular frequency of reconancy
gam=ai0/ai
ssen1=abm*ai
ssen2=- (ai*abk+abm*aki+abm*abk*alg**2)
ssen3=abk*aki
sen2=sqrt(ssen2**2-4*ssen1*ssen3)/2/ssen1
sen1=ssen2/2/ssen1
afnc1=(-sen1-sen2)**0.5
afnc2=(-sen1-sen2)**0.5
ffnc1=afnc1/2/pi
ffnc2=afnc2/2/pi

c displacement max coupled akibat Fx
gi0=ai0
gai=ai
gbr=abm
gfg=fg
gbk=abk
gki=aki
sk1=(-gi0*omp**2+gki+alg**2*gbk)**2
sk2=(sith*(gki*gai)**0.5+alg**2*seth*(gbk*gbr)**0.5)**2
do2=omp**2*((omni**2+omn**2)/gam-4*seth*sith*omn*omni/gam)
do3=omn**2*omni**2/gam
do4=seth*omn*omp/gam*(omni**2-omp**2)
do5=sith*omni*omp/gam*(omn**2-omp**2)
domk=((omp**4-do2+do3)**2+4*(do4+do5)**2)**0.5
aabx=gfg/(gbk*gi0)*(sk1+4*omp**2*sk2)**0.5/domk
aabr=gfg/gi0*alg*omn*(omn**2+4*seth*omp**2)**0.5/domk

c displacemet slid, rock, coupled dalam periode/36
do 123 i=0,sret
tt=1*t/36
sud=omp*tt

660      buu=xub*cos(omp*tt-alf)+exp(-seth*omn*tt)*(asa*cos(omdi*tt)
++adu*sin(omdi*tt))
      buss=xubi*cos(omp*tt-alfi)+exp(-sith*omni*tt)*(asai*cos(omdi
+*tt)+adi*sin(omdi*tt))
      akd1=aabx+aabr*(atg-alg)
      akd2=aabx-aabr*(alg)
      bmom=amom*dcos(sud)
      f=ap*dcos(sud)

      write(9,110)tt,sud,uu,buss
110      format(f6.2,2x,f7.3,2x,e10.4,2x,e10.4)
c      write(6,2110)tt,sud,bcu,bcss
c2110      format(f6.2,2x,f7.3,2x,e10.4,2x,e10.4)

c displacment tot/ dof max setelah steady vibration
if(1.eq.sret)then
c displacment tot/ dof max setelah steady vibration tanpa redaman
if(knt.eq.2)then
      buu=ub+abs(adu)+abs(asa)
      buss=ubi+abs(adi)+abs(asai)
endif

      write(5,*)'
      write(5,8190)
8190      format('max displacment-x (m)=' ,\ )
      write(5,8200)uu
8200      format(1x,e10.4)
      write(5,8191)

```

```

8191     format('max displacment-r (rad)=' , \)
        write(5,8201)buss
8201     format(1x,e10.4)
        write(5,*)'

c no:4 nulis amplitud coupled dan coupled frequence
        write(5,8411)
8411     format('frekwensi natural-x coupled(m)=' , \)
        write(5,8412)ffnc1
8412     format(1x,e10.3)
        write(5,1411)
1411     format('frekwensi natural-r coupled(rad)=' , \)
        write(5,1412)ffnc2
1412     format(1x,e10.3)
        write(5,8194)
8194     format('max displacment-x coupled(m)=' , \)
        write(5,8203)aabx
8203     format(1x,e10.4)
        write(5,8291)
8291     format('max displacment-r coupled(rad)=' , \)
        write(5,3201)aabr
3201     format(1x,e10.4)
        write(5,8192)
8192     format('max displacment-c (puncak)=' , \)
        write(5,8202)akd1
8202     format(1x,e10.4)
        write(5,1192)
1192     format('max displacment-c (dasar)=' , \)
        write(5,1202)akd2
1202     format(1x,e10.4)

        else
        goto 123
        endif

123     continue
        return
        end

```

```

c hydrodynamics force & moment computer program
c from Abdul Ghofur 4834300002
c using diffraction theory; based on linier wave theory
c from McCumny-Fuchs, T.Sarpkaya
c Mei 2 1998, 9:15 Am
c$noext

      implicit real*8(a-h,o-z)
c      write(*,*)'periode'
c      read(*,*)t
c      write(*,*)'depth'
c      read(*,*)d
c      write(*,*)'jari-jari'
c      read(*,*)r
c      write(*,*)'tinggi gel'
c      read(*,*)h
c      write(*,*)'kedalaman tinjauan'
c      read(*,*)z
c      write(*,*)'jumlah suku besel'
c      read(*,*)n

      t=6
      d=60
      r=20
      h=20
      n=5

c konstanta
      g=32.2
      rho=1.93

c      g=9.81
c      rho=1030
      pi=3.14159265

      open (3,file='c:\data\for\diff.dat')

c mencari k
      p=15
      om=2*pi/t
9      ak1=p
      ba=ak1*d
      p=om**2/(g*dtanh(ba))
      if(dabs(p-ak1).lt.0.00001)goto15
      goto9

15      pp=2*pi/p
      write(3,13)
13      format(/,1x,'k=',\ )
      write(3,12)p
12      format(1x,f10.6)

      write(3,131)
131      format(/,1x,'lamda=',\ )
      write(3,121)pp
121      format(1x,f10.6)

c mencari harga besel jenis 1,2 dan turunannya
      write(3,3)
3      format(/,1x,'-----',
+ '-----',/,
+6x,'y1',9x,'y1 aks',7x,'j1',9x,'j1 aks',/,
+1x,'-----',/)

```



```

b=0
b1=0
bk=0
d4=0
ae=0
ah=0
am=0
amm=0
fac=1
fac1=1

c looping = jumlah suku bessel
do 40 j=0,n
  if(j.eq.0)goto 50
  fac=fac*j

c untuk input n=0
50  fac1=fac1*(j+1)
    if(j.eq.0)goto 55

55  b1=1/float(j)
    b=b+b1

    m=j+1
    bk1=1/float(m)
77  bk=bk+bk1
    x=p*r
    d3=x/2

    bj1=(-1)**j
    a1=2*j+1
    ab=2**a1
    ac=x**a1
    ad=fac*fac1*ab
    am1=bj1*ac/ad

    dr=2*dlog10(d3)
    d4=d4+bk1+b1
    df=dr+1.1544-d4

    ac1=bj1*ac*df/ad
    ae=ae+ac1
    aepi=0.3183099*ae

    aal=2*j
    acc=x**aal
    am2=bj1*a1*acc/ad

    af=bj1*a1*acc*df/ad
    po=2.7182818
    ag=2/x*dlog10(po)
    agg=bj1*ac*ag/ad
    ah1=af+agg
    ah=ah+ah1
    ahah=ah/pi
    ag1=x**2
    agh=2/pi/ag1

    ay1=aepi-(2/x/pi)
    ylaks=ahah+agh
    am=am+am1
    amm=amm+am2

```

```

      write(3,85) ayl,ylaks,am/amm
85      format(1x,f10.6,2x,f10.6,2x,f10.6,2x,f10.6)
40      continue

c harga A(ka), delta, cm
      write(3,95)
95      format(///,4x,'a(ka)',7x,'delta',8x,'cm',\ )
      ak=dsqrt(amm**2+ylaks**2)
      aka=1/ak
      adelta=atan(ylaks/amm)
      delta=adelta*180/pi
      cwa=(r*p)**2
      cm=4/ak/pi/cwa
      write(3,100) aka,delta,cm
100     format(1x,f10.6,1x,f10.6,1x,f10.6)

c      pause

c beban terfungsi koordinat sudut
      write(3,103)
103     format(/1x,'-----',
+ '-----',/
+ 1x,'sudut',10x,'Ft',16x,'M',/,
+ 1x,'-----',/)

      pdr=p*d
      do 105 i=0,90,10
      sud=pi*i/180

c menghitung gaya
      konst=pi*rho*g*h*(r**2)/2
      hip=dtanh(pdr)
      f=konst*hip*cm*dcos(sud)

c menghitung moment
      amsa=pdr*sinh(pdr)+1-cosh(pdr)
      amsb=pdr**2*cosh(pdr)
      amom=2*aka/p*rho*g*h*d**2*amsa/amsb*dcos(sud)

      write(3,110) i,f,amom
110     format(1x,i3,7x,f13.2,4x,f19.2)

105     continue
      stop
      end

```

File hasil dari Ghoff.for

k= 0.035083
lamda= 179.095677

y1	y1 aks	j1	j1 aks
-0.991668	1.311108	0.350828	0.500000
-0.976168	1.368872	0.329238	0.407690
-0.976603	1.365944	0.329681	0.410846
-0.976598	1.365995	0.329677	0.410800
-0.976598	1.365995	0.329677	0.410801
-0.976598	1.365995	0.329677	0.410801

a(ka) delta cm 0.701052 73.262196 1.813053

sudut	Ft	M
0	1374472.55	51801076.36
10	1353591.23	51014101.57
20	1291581.71	48677089.03
30	1190328.14	44861047.69
40	1052907.04	39681926.04
50	883493.90	33297089.09
60	687236.24	25900536.87
70	470097.26	17717009.91
80	238674.60	8995160.53
90	-0.06	-2.26


```

c basic Craig
c$noext
c      write(*,*)'m'
c      read(*,*)abm
c      write(*,*)'c/cr'
c      read(*,*)seth
c      write(*,*)'k'
c      read(*,*)abk
c      write(*,*)'p'
c      read(*,*)ap
c      write(*,*)'omp'
c      read(*,*)omp
c      abm=0.1
c      seth=0.2
c      abk=40
c      ap=10
c      omp=10

c      write(*,*)'t'
c      read(*,*)t
c      write(*,*)'init time disp'
c      read(*,*)atd
c      write(*,*)'init displ'
c      read(*,*)abd
c      write(*,*)'init time vel'
c      read(*,*)atv
c      write(*,*)'init displ'
c      read(*,*)av

c      atd=0
c      abd=0
c      atv=0
c      av=0

c      pi=3.141592654
c      omp=2*pi/t
c      t=2*pi/omp
c      acr=(abk*abm)**0.5*2
c      omn=(abk/abm)**0.5
c      omd=omp*(1-seth**2)**0.5
c      ro=omp/omn
c      uob=ap/abk
c      ub=uob/((1-ro**2)**2+(2*seth*ro)**2)**0.5
c      alf=atan(2*seth*ro/(1-ro**2))

c      a=cos(omd*atd)
c      bo=sin(omd*atd)
c      c=(abd-ub*cos((omp*atd-alf)))/exp(-seth*omn*atd)
c      do=-seth*omn*cos(omd*atv)-omd*sin(omd*atv)
c      e=omd*cos(omd*atv)-seth*omn*sin(omd*atv)
c      fo=(av+omp*ub*sin((omp*atv-alf)))/exp(-seth*omn*atv)
c      adu=(c*do-a*fo)/(bo*do-a*e)
c      asa=(c-bo*adu)/a

c      open (5,file='c:\data\for\displ2.dat')

c      write(5,11)
c      format('omn=',\ )
c      write(5,12)omn
c      format(1x,f7.3)
c      write(5,13)
c      format('Uo=',\ )
c      write(5,14)uob

```

```

14      format(1x,e10.3)
      write(5,15)
15      format('r=',\ )
      write(5,16)ro
16      format(1x,f9.3)
      write(5,17)
17      format('U=',\ )
      write(5,18)ub
18      format(1x,e10.3)
      write(5,19)
19      format('alfa=',\ )
      write(5,20)alf
20      format(1x,f13.6)
      write(5,21)
21      format('omd=',\ )
      write(5,22)omd
22      format(1x,f7.3)
      write(5,23)
23      format('A1=',\ )
      write(5,24)asa
24      format(1x,f10.6)
      write(5,25)
25      format('A2=',\ )
      write(5,26)adu
26      format(1x,f10.6)

      write(5,103)
103     format(/1x,'-----',
+ '-----',/
+1x,'detik',2x,'sudut(rad)',2x,'displ(m)',/,
+1x,'-----',/)

      do 123 i=0,144
      tt=i*t/36
      sud=omp*tt
      buu=ub*cos(omp*tt-alf)+exp(-seth*omn*tt)*(asa*cos(omd*tt)
++adu*sin(omd*tt))

      write(5,110)tt,sud,uu
110     format(1x,f6.1,2x,f7.1,3x,f13.10)

123     continue

      write(*,*)omp
      write(*,*)omn
      write(*,*)ro

      stop
      end

```

File hasil dari dinam.for

omn= 20.000
 Uc= 0.250E+00
 r= 0.500
 U= 0.322E+00
 alfa= 0.260602
 omd= 19.596
 A1= -0.311203
 A2= -0.105874

detik	sudut(rad)	displ(m)
0.0	0.0	0.0000000000
0.0	0.2	0.0143629000
0.0	0.3	0.0528722400
0.1	0.5	0.1067702000
0.1	0.7	0.1659067000
0.1	0.9	0.2201273000
0.1	1.0	0.2605016000
0.1	1.2	0.2802750000
0.1	1.4	0.2764672000
0.2	1.6	0.2450938000
0.2	1.7	0.1910302000
0.2	1.9	0.1173789000
0.2	2.1	0.0308032000
0.2	2.3	-0.0602214400
0.2	2.4	-0.1341948000
0.3	2.6	-0.2383711000
0.3	2.8	-0.3090829000
0.3	3.0	-0.3621867000
0.3	3.1	-0.3952471000
0.3	3.3	-0.4073791000
0.3	3.5	-0.4000566000
0.4	3.7	-0.3748377000
0.4	3.8	-0.3343904000
0.4	4.0	-0.2840921000
0.4	4.2	-0.2258455000
0.4	4.4	-0.1637513000
0.5	4.5	-0.1008622000
0.5	4.7	-0.0396321300
0.5	4.9	0.0181374600
0.5	5.1	0.0712678400
0.5	5.2	0.1191068000
0.5	5.4	0.1613886000
0.6	5.6	0.1980801000
0.6	5.8	0.2292328000
0.6	5.9	0.2548594000
0.6	6.1	0.2748544000
0.6	6.3	0.2889573000
0.6	6.5	0.2967650000
0.7	6.6	0.2977825000
0.7	6.8	0.2915041000
0.7	7.0	0.2775101000
0.7	7.2	0.2555667000
0.7	7.3	0.2257130000
0.8	7.5	0.1883265000
0.8	7.7	0.1441585000
0.8	7.9	0.0943362900
0.8	8.0	0.0403294900
0.8	8.2	-0.0161104100
0.8	8.4	-0.0730365800

karena tidak bekerja dan melihat gunung
adalah lebih baik daripada
bekerja dilihat gunung

(Musashi)

LAMPIRAN B

```
k      = 0.038836
lamda  = 161.789622
D/lamda= 0.309043
```

a(ka)	delta	cm
1.124892	67.895780	1.519437

```
frekwensi natural-x coupled= 0.501E+00
frekwensi natural-r coupled= 0.270E+01
max displacment-x coupled = 0.4072E-01
max displacment-r coupled = 0.7960E-03
max displacment-c (puncak)= 0.8605E-01
max displacment-c (dasar)= 0.6456E-02
```

k = 0.038836
 lamda = 161.789622
 D/lamda= 0.309043

y1	y1 aks	j1	j1 aks
-0.728847	0.738279	0.485444	0.500000
-0.692919	0.833007	0.428245	0.323258
-0.694926	0.823310	0.430492	0.334828
-0.694878	0.823641	0.430448	0.334509
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514

a(ka) delta cm
 1.124892 67.893780 1.519437

fbot x = 0.2214E+09

mbot y = 0.1250E+11

m struk = 0.2400E+09
 m tanah = 0.1618E+09
 m eff-tanah = 0.1583E+08
 M bot = 0.4176E+09
 c /Ccr (x) = .000000000
 Kx(stiffness)= 0.3436E+11

inertia struk.= 0.2000E+12
 inertia fluida= 0.8629E+11
 inertia eff-tanah= 0.2500E+11
 Inertia tot = 0.3506E+12
 c/Ccr (rock) = .000000000
 Kr(stiffness)= 0.1217E+14

U-x (SSR) = 0.006474

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-x = 1.444
 frekwensi teredam-x = 1.444
 rasio frekwensi = 0.067911
 alfa-x= 0.000000

U-r (SSR) = 0.001039

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-r = 0.938
 frekwensi teredam-r = 0.938
 rasio frekwensi-r = 0.104562
 alfa-r= 0.000000

max displacment-x= 0.1295E-01
 max displacment-r= 0.2077E-02

frekwensi natural-x coupled= 0.501E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.270E+01
 max displacment-x coupled = 0.4074E-01
 max displacment-r coupled = 0.7957E-03
 max displacment-c (puncak)= 0.8605E-01
 max displacment-c (dasar)= 0.6482E-02

k = 0.038836
 lamda = 161.789622
 D/lamda= 0.309043

yl	yl aks	j1	j1 aks
-0.728847	0.738279	0.485444	0.500000
-0.692919	0.833007	0.428245	0.323258
-0.694926	0.823310	0.430492	0.334828
-0.694878	0.823641	0.430448	0.334509
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514

a(ka) delta cm
 1.124892 67.895780 1.519437

ftot x = 0.2214E+09

mtot y = 0.1250E+11

m struk = 0.2400E+09
 m tambah = 0.1618E+09
 m eff-tanah = 0.0000E+00
 M tot = 0.4018E+09
 c /Ccr (x) = .086454191
 Kx(stiffness)= 0.3436E+11

inertia strk.= 0.2000E+12
 inertia fluida= 0.8629E+11
 inertia eff-tanah= 0.0000E+00
 Inertia tot = 0.2878E+12
 c/Ccr (rock) = .055561975
 Kr(stiffness)= 0.1217E+14

U-x (SSR) = 0.006473

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-x = 1.472
 frekwensi teredam-x = 1.466
 rasio frekwensi = 0.066611
 alfa-x= 0.011568

U-r (SSR) = 0.001036

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-r = 1.035
 frekwensi teredam-r = 1.033
 rasio frekwensi-r = 0.094729
 alfa-r= 0.010622

max displacment-x= 0.6472E-02
 max displacment-r= 0.1036E-02

frekwensi natural-x coupled= 0.520E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.293E+01
 max displacment-x coupled = 0.4064E-01
 max displacment-r coupled = 0.7943E-03
 max displacment-c (puncak)= 0.8587E-01
 max displacment-c (dasar)= 0.6447E-02

k = 0.038836
 lamda = 161.789622
 D/lamda= 0.309043

yl	yl aks	jl	jl aks
-0.728847	0.738279	0.485444	0.500000
-0.692919	0.823007	0.428245	0.323258
-0.694926	0.823310	0.430492	0.334828
-0.694878	0.823642	0.430448	0.334509
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514

a(ka) delta cm
 1.124392 67.895780 1.519437

ftot x = 0.2214E+09

mtot y = 0.1250E+11

m struk = 0.2400E+09
 m tambah = 0.1618E+09
 m eff-tanah = 0.0000E+00
 M tot = 0.4018E+09
 c /Ccr (x) = .0000000000
 Kx(stiffness) = 0.3436E+11

inertia strk.= 0.2000E+12
 inertia fluida= 0.8623E+11
 inertia eff-tanah= 0.0000E+00
 Inertia tot = 0.2878E+12
 c/Ccr (rock) = .0000000000
 Kr(stiffness)= 0.1217E+14

U-x (SSR) = 0.006473

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-x = 1.472
 frekwensi teredam-x = 1.472
 rasio frekwensi = 0.066611
 alfa-x= 0.000000

U-r (SSR) = 0.001037

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-r = 1.035
 frekwensi teredam-r = 1.035
 rasio frekwensi-r = 0.034723
 alfa-r= 0.000000

max displacment-x= 0.1295E-01
 max displacment-r= 0.2073E-02

frekwensi natural-x coupled= 0.520E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.293E+01
 max displacment-x coupled = 0.4065E-01
 max displacment-r coupled = 0.7939E-03
 max displacment-c (puncak)= 0.8587E-01
 max displacment-c (dasar)= 0.6473E-02

k = 0.038836
 lamda = 161.789622
 D/lamda= 0.309043

y1	y1 aks	j1	j1 aks
-0.728847	0.738279	0.485444	0.500000
-0.692919	0.833007	0.428245	0.323258
-0.694926	0.823310	0.430492	0.334828
-0.694878	0.823641	0.430448	0.334509
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514

a(ka) delta cm
 1.124892 67.895780 1.519437

ftot x = 0.2214E+09

mtot y = 0.1250E+11

m struk = 0.2400E+09
 m tambah = 0.1618E+09
 m eff-tanah = 0.1187E+08
 M tot = 0.4137E+09
 c /Ccr (x) = .085204250
 Kx(stiffness)= 0.3436E+11

inertia strk.= 0.2000E+12
 inertia fluida= 0.8629E+11
 inertia eff-tanah= 0.1250E+11
 Inertia tot = 0.3281E+12
 c/Ccr (rock) = .054692987
 Kr(stiffness)= 0.1217E+14

U-x (SSR) = 0.006473

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-x = 1.451
 frekwensi teredam-x = 1.445
 rasio frekwensi = 0.067588
 alfa-x= 0.011570

U-r (SSR) = 0.001038

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-r = 0.969
 frekwensi teredam-r = 0.968
 rasio frekwensi-r = 0.101139
 alfa-r= 0.011177

max displacment-x= 0.6473E-02
 max displacment-r= 0.1038E-02

frekwensi natural-x coupled= 0.507E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.278E+01
 max displacment-x coupled = 0.4069E-01
 max displacment-r coupled = 0.7954E-03
 max displacment-c (puncak)= 0.8599E-01
 max displacment-c (dasar)= 0.6453E-02

k = 0.038836
 lamda = 161.789622
 D/lamda= 0.309043

yl	yl aks	j1	j1 aks
-0.728847	0.738279	0.485444	0.500000
-0.692919	0.833007	0.428245	0.323258
-0.694926	0.823310	0.430492	0.334828
-0.694878	0.823641	0.430448	0.334509
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514

a(ka) delta cm
 1.124892 67.895780 1.519437

ftot x = 0.2214E+09

mtot y = 0.1250E+11

m struk = 0.2400E+09
 m tambah = 0.1618E+09
 m eff-tanah = 0.1397E+08
 M tot = 0.4158E+09
 c /Ccr (x) = .084989249
 Kx(stiffness)= 0.3436E+11

inertia strk.= 0.2000E+12
 inertia fluida= 0.8629E+11
 inertia eff-tanah= 0.1786E+11
 Inertia tot = 0.3387E+12
 c/Ccr (rock) = .054500476
 Kr(stiffness)= 0.1217E+14

U-x (SSR) = 0.006474

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-x = 1.447
 frekwensi teredam-x = 1.442
 rasio frekwensi = 0.067759
 alfa-x= 0.011570

U-r (SSR) = 0.001038

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-r = 0.954
 frekwensi teredam-r = 0.953
 rasio frekwensi-r = 0.102769
 alfa-r= 0.011321

max displacment-x= 0.6473E-02
 max displacment-r= 0.1038E-02

frekwensi natural-x coupled= 0.504E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.274E+01
 max displacment-x coupled = 0.4071E-01
 max displacment-r coupled = 0.7956E-03
 max displacment-c (puncak)= 0.8602E-01
 max displacment-c (dasar)= 0.6455E-02

k = 0.038836
 lamda = 161.789622
 D/lamda= 0.309043

y1	y1 aks	j1	j1 aks
-0.729847	0.738279	0.485444	0.500000
-0.692919	0.833007	0.428245	0.323258
-0.694926	0.823310	0.430492	0.334828
-0.694878	0.823641	0.430448	0.334509
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514

a(ka) delta cm
 1.124892 67.895780 1.519437

ftot x = 0.2214E+09

mtot y = 0.1250E+11

m struk = 0.2400E+09
 m tambah = 0.1618E+09
 m eff-tanah = 0.1583E+08
 M tot = 0.4176E+09
 c /Ccr (x) = .084799497
 Kx(stiffness)= 0.1473E+11

inertia strk.= 0.2000E+12
 inertia fluida= 0.8629E+11
 inertia eff-tanah= 0.2500E+11
 Inertia tot = 0.3506E+12
 c/Ccr (rock) = .054300333
 Kr(stiffness)= 0.5216E+13

U-x (SSR) = 0.015198

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-x = 0.945
 frekwensi teredam-x = 0.942
 rasio frekwensi = 0.103736
 alfa-x= 0.017783

U-r (SSR) = 0.002459

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-r = 0.614
 frekwensi teredam-r = 0.613
 rasio frekwensi-r = 0.159721
 alfa-r= 0.017798

max displacment-x= 0.1520E-01
 max displacment-r= 0.2459E-02

frekwensi natural-x coupled= 0.328E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.177E+01
 max displacment-x coupled = 0.9679E-01
 max displacment-r coupled = 0.1898E-02
 max displacment-c (puncak)= 0.2049E+00
 max displacment-c (dasar)= 0.1510E-01

k = 0.038836
 lamda = 161.789622
 D/lamda= 0.309043

y1	y1 aks	j1	j1 aks
-0.728847	0.738279	0.485444	0.500000
-0.692919	0.833007	0.428245	0.323258
-0.694926	0.823310	0.430492	0.334828
-0.694879	0.823641	0.430448	0.334509
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514
-0.694879	0.823635	0.430448	0.334514

a(ka) delta cm
 1.124892 67.895780 1.519437

ftot x = 0.2214E+09

mtot y = 0.1250E+11

m struk = 0.2400E+09
 m tambah = 0.1618E+09
 m eff-tanah = 0.1583E+08
 M tot = 0.4176E+09
 c /Ccr (x) = .084799497
 Kx(stiffness)= 0.4909E+11

inertia strk.= 0.2000E+12
 inertia fluida= 0.8629E+11
 inertia eff-tanah= 0.2500E+11
 Inertia tot = 0.3506E+12
 c/Ccr (rock) = .054300333
 Kr(stiffness)= 0.1739E+14

U-x (SSR) = 0.004525

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-x = 1.725
 frekwensi teredam-x = 1.719
 rasio frekwensi = 0.056818
 alfa-x= 0.009667

U-r (SSR) = 0.000725

frekwensi gaya gelombang= 0.098
 frekwensi natural-r = 1.121
 frekwensi teredam-r = 1.119
 rasio frekwensi-r = 0.087483
 alfa-r= 0.009574

max displacment-x= 0.4525E-02
 max displacment-r= 0.7246E-03

frekwensi natural-x coupled= 0.598E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.323E+01
 max displacment-x coupled = 0.2839E-01
 max displacment-r coupled = 0.5545E-03
 max displacment-c (puncak)= 0.5997E-01
 max displacment-c (dasar)= 0.4517E-02

k = 0.251519
 lamda = 24.980960
 D/lamda= 2.001524

y1	y1 aks	j1	j1 aks
1.048994	0.337268	3.143987	0.500000
2.783285	0.481472	-12.394628	-6.913492
-6.864200	-6.064325	13.204348	13.442011
4.997982	6.213918	-7.882073	-10.032154
-2.357481	-3.855746	2.539527	4.884319
0.466830	0.934039	-0.894270	-1.122666
-0.277490	-0.569264	-0.086130	0.548115
-0.133947	-0.233112	-0.228776	0.207831
-0.155125	-0.289509	-0.209193	0.260776
-0.152655	-0.282138	-0.211344	0.254277
a(ka)	delta	cm	
2.632867	-47.973195	0.084785	

ftot x = 0.1682E+07

mtot y = 0.1279E+09

m struk = 0.2400E+09
 m tambah = 0.1618E+09
 m eff-tanah = 0.1583E+08
 M tot = 0.4176E+09
 c /Ccr (x) = .084799497
 Kx(stiffness)= 0.3436E+11

inertia strk.= 0.2000E+12
 inertia fluida= 0.8629E+11
 inertia eff-tanah= 0.2500E+11
 Inertia tot = 0.3506E+12
 c/Ccr (rock) = .054300333
 Kr(stiffness)= 0.1217E+14

U-x (SSR) = 0.000050

frekwensi gaya gelombang= 0.250
 frekwensi natural-x = 1.444
 frekwensi teredam-x = 1.438
 rasio frekwensi = 0.173173
 alfa-x= 0.030269

U-r (SSR) = 0.000011

frekwensi gaya gelombang= 0.250
 frekwensi natural-r = 0.938
 frekwensi teredam-r = 0.936
 rasio frekwensi-r = 0.266633
 alfa-r= 0.031163

max displacment-x= 0.5042E-04
 max displacment-r= 0.1130E-04

frekwensi natural-x coupled= 0.501E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.270E+01
 max displacment-x coupled = 0.3345E-03
 max displacment-r coupled = 0.6620E-05
 max displacment-c (puncak)= 0.7115E-03
 max displacment-c (dasar)= 0.4948E-04

k = 0.133035
 lamda = 47.229628
 D/lamda= 1.058658

y1	y1 aks	j1	j1 aks
0.124145	0.290674	1.662935	0.500000
0.785664	0.696235	-0.636367	-1.574016
0.199673	-0.096629	0.423364	0.019148
0.380058	0.262728	0.179153	-0.494846
0.350280	0.184954	0.212919	-0.403472
0.353388	0.194975	0.209807	-0.413766
0.353163	0.194113	0.210012	-0.412965
0.353175	0.194166	0.210002	-0.413011
0.353174	0.194164	0.210002	-0.413009
0.353174	0.194164	0.210002	-0.413009
a(ka)	delta	cm	
2.191191	-25.179177	0.252220	

ftot x = 0.5004E+07

mtot y = 0.3627E+09

m struk = 0.2400E+09
 m tambah = 0.1618E+09
 m eff-tanah = 0.1583E+08
 M tot = 0.4176E+09
 c /Ccr (x) = .084799497
 Kx(stiffness)= 0.3436E+11

inertia strk.= 0.2000E+12
 inertia fluida= 0.8629E+11
 inertia eff-tanah= 0.2500E+11
 Inertia tot = 0.3506E+12
 c/Ccr (rock) = .054300333
 Kr(stiffness)= 0.1217E+14

U-x (SSR) = 0.000148

frekwensi gaya gelombang= 0.182
 frekwensi natural-x = 1.444
 frekwensi teredam-x = 1.438
 rasio frekwensi = 0.125944
 alfa-x= 0.021701

U-r (SSR) = 0.000031

frekwensi gaya gelombang= 0.182
 frekwensi natural-r = 0.938
 frekwensi teredam-r = 0.936
 rasio frekwensi-r = 0.193915
 alfa-r= 0.021879

max displacment-x= 0.1479E-03
 max displacment-r= 0.3095E-04

frekwensi natural-x coupled= 0.501E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.270E+01
 max displacment-x coupled = 0.9521E-03
 max displacment-r coupled = 0.1871E-04
 max displacment-c (puncak)= 0.2018E-02
 max displacment-c (dasar)= 0.1465E-03

k = 0.111786
 lamda = 56.207159
 D/lamda= 0.889566

y1	y1 aks	j1	j1 aks
-0.029872	0.290576	1.397328	0.500000
0.428237	0.647387	0.033169	-0.964393
0.161404	0.213907	0.477095	-0.170153
0.218232	0.349103	0.404864	-0.351077
0.211674	0.328681	0.411915	-0.328368
0.212155	0.330527	0.411456	-0.330174
0.212130	0.330415	0.411478	-0.330075
0.212131	0.330420	0.411477	-0.330079
0.212131	0.330420	0.411477	-0.330079
0.212131	0.330420	0.411477	-0.330079

a(ka) delta cm
 2.141130 -45.029608 0.349057

ftot x = 0.6925E+07

mtot y = 0.4921E+09

m struk = 0.2400E+09
 m tambah = 0.1618E+09
 m eff-tanah = 0.1583E+08
 M tot = 0.4176E+09
 c /Ccr (x) = .084799497
 Kx(stiffness)= 0.3436E+11

inertia strk.= 0.2000E+12
 inertia fluida= 0.8629E+11
 inertia eff-tanah= 0.2500E+11
 Inertia tot = 0.3506E+12
 c/Ccr (rock) = .054300333
 Kr(stiffness)= 0.1217E+14

U-x (SSR) = 0.000204

frekwensi gaya gelombang= 0.167
 frekwensi natural-x = 1.444
 frekwensi teredam-x = 1.438
 rasio frekwensi = 0.115448
 alfa-x= 0.019842

U-r (SSR) = 0.000042

frekwensi gaya gelombang= 0.167
 frekwensi natural-r = 0.938
 frekwensi teredam-r = 0.936
 rasio frekwensi-r = 0.177755
 alfa-r= 0.019932

max displacment-x= 0.2042E-03
 max displacment-r= 0.4174E-04

frekwensi natural-x coupled= 0.501E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.270E+01
 max displacment-x coupled = 0.1308E-02
 max displacment-r coupled = 0.2567E-04
 max displacment-c (puncak)= 0.2769E-02
 max displacment-c (dasar)= 0.2025E-03

k = 0.062885
 lamda = 99.915310
 D/lamda= 0.500424

y1	y1 aks	j1	j1 aks
-0.418624	0.387112	0.786064	0.500000
-0.298443	0.573738	0.543211	0.036578
-0.317454	0.517675	0.568221	0.116118
-0.316236	0.522871	0.566933	0.110385
-0.316279	0.522630	0.566973	0.110612
-0.316278	0.522637	0.566972	0.110607
-0.316278	0.522637	0.566972	0.110607
-0.316278	0.522637	0.566972	0.110607
-0.316278	0.522637	0.566972	0.110607
-0.316278	0.522637	0.566972	0.110607

a(ka) delta cm
 1.871913 78.050694 0.964318

ftot x = 0.1411E+09

mtot y = 0.9072E+10

m struk = 0.2400E+09
 m tambah = 0.1618E+09
 m eff-tanah = 0.1583E+08
 M tot = 0.4176E+09
 c /Ccr (x) = .084799497
 Kx(stiffness)= 0.3436E+11

inertia strk.= 0.2000E+12
 inertia fluida= 0.8629E+11
 inertia eff-tanah= 0.2500E+11
 Inertia tot = 0.3506E+12
 c/Ccr (rock) = .054300333
 Kr(stiffness)= 0.1217E+14

U-x (SSR) = 0.004137

frekwensi gaya gelombang= 0.125
 frekwensi natural-x = 1.444
 frekwensi teredam-x = 1.438
 rasio frekwensi = 0.086586
 alfa-x= 0.014795

U-r (SSR) = 0.000759

frekwensi gaya gelombang= 0.125
 frekwensi natural-r = 0.938
 frekwensi teredam-r = 0.936
 rasio frekwensi-r = 0.133317
 alfa-r= 0.014739

max displacment-x= 0.4136E-02
 max displacment-r= 0.7588E-03

frekwensi natural-x coupled= 0.501E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.270E+01
 max displacment-x coupled = 0.2617E-01
 max displacment-r coupled = 0.5123E-03
 max displacment-c (puncak)= 0.5535E-01
 max displacment-c (dasar)= 0.4118E-02

k = 0.040369
 lamda = 155.642690
 D/lamda= 0.321249

y1	y1 aks	j1	j1 aks
-0.701419	0.693289	0.504616	0.500000
-0.661752	0.793602	0.440369	0.309022
-0.664158	0.782425	0.443096	0.322530
-0.664097	0.782838	0.443038	0.322129
-0.664097	0.782830	0.443039	0.322136
-0.664097	0.782830	0.443039	0.322135
-0.664097	0.782830	0.443039	0.322135
-0.664097	0.782830	0.443039	0.322135
-0.664097	0.782830	0.443039	0.322135
-0.664097	0.782830	0.443039	0.322135

a(ka) delta cm
 1.181308 67.632785 1.476696

ftot x = 0.2154E+09

mtot y = 0.1230E+11

m struk = 0.2400E+09
 m tambah = 0.1618E+09
 m eff-tanah = 0.1583E+08
 M tot = 0.4176E+09
 c /Ccr (x) = .084799497
 Kx(stiffness)= 0.3436E+11

inertia strk.= 0.2000E+12
 inertia fluida= 0.8629E+11
 inertia eff-tanah= 0.2500E+11
 Inertia tot = 0.3506E+12
 c/Ccr (rock) = .054300333
 Kr(stiffness)= 0.1217E+14

U-x (SSR) = 0.006298

frekwensi gaya gelombang= 0.100
 frekwensi natural-x = 1.444
 frekwensi teredam-x = 1.438
 rasio frekwensi = 0.069269
 alfa-x= 0.011804

U-r (SSR) = 0.001022

frekwensi gaya gelombang= 0.100
 frekwensi natural-r = 0.938
 frekwensi teredam-r = 0.936
 rasio frekwensi-r = 0.106653
 alfa-r= 0.011715

max displacment-x= 0.6298E-02
 max displacment-r= 0.1022E-02

frekwensi natural-x coupled= 0.501E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.270E+01
 max displacment-x coupled = 0.3963E-01
 max displacment-r coupled = 0.7747E-03
 max displacment-c (puncak)= 0.8375E-01
 max displacment-c (dasar)= 0.6280E-02

k = 0.028534
 lamda = 220.198562
 D/lamda= 0.227068

y1	y1 aks	j1	j1 aks
-0.976565	1.271333	0.356677	0.500000
-0.960381	1.330603	0.333989	0.404586
-0.960852	1.327490	0.334470	0.407958
-0.960846	1.327546	0.334465	0.407908
-0.960846	1.327546	0.334465	0.407908
-0.960846	1.327546	0.334465	0.407908
-0.960846	1.327546	0.334465	0.407908
-0.960846	1.327546	0.334465	0.407908
-0.960846	1.327546	0.334465	0.407908
-0.960846	1.327546	0.334465	0.407908

a(ka) delta cm
 0.720046 72.919644 1.801604

ftot x = 0.2582E+09

mtot y = 0.1328E+11

m struk = 0.2400E+09
 m tambah = 0.1618E+09
 m eff-tanah = 0.1583E+08
 M tot = 0.4176E+09
 c /Ccr (x) = .084799497
 Kx(stiffness)= 0.3436E+11

inertia strk.= 0.2000E+12
 inertia fluida= 0.8629E+11
 inerta eff-tanah= 0.2500E+11
 Inertia tot = 0.3506E+12
 c/Ccr (rock) = .054300333
 Kr(stiffness)= 0.1217E+14

U-x (SSR) = 0.007538

frekwensi gaya gelombang= 0.083
 frekwensi natural-x = 1.444
 frekwensi teredam-x = 1.438
 rasio frekwensi = 0.057724
 alfa-x= 0.009822

U-r (SSR) = 0.001100

frekwensi gaya gelombang= 0.083
 frekwensi natural-r = 0.938
 frekwensi teredam-r = 0.936
 rasio frekwensi-r = 0.088878
 alfa-r= 0.009729

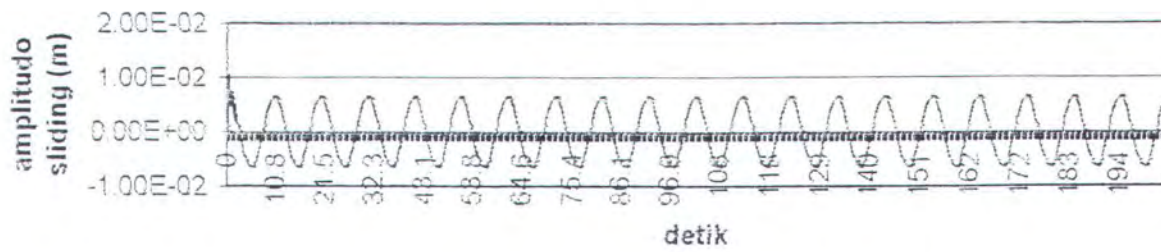
max displacment-x= 0.7538E-02
 max displacment-r= 0.1100E-02

frekwensi natural-x coupled= 0.501E+00
 frekwensi natural-r coupled= 0.270E+01
 max displacment-x coupled = 0.4730E-01
 max displacment-r coupled = 0.9239E-03
 max displacment-c (puncak)= 0.9991E-01
 max displacment-c (dasar)= 0.7523E-02

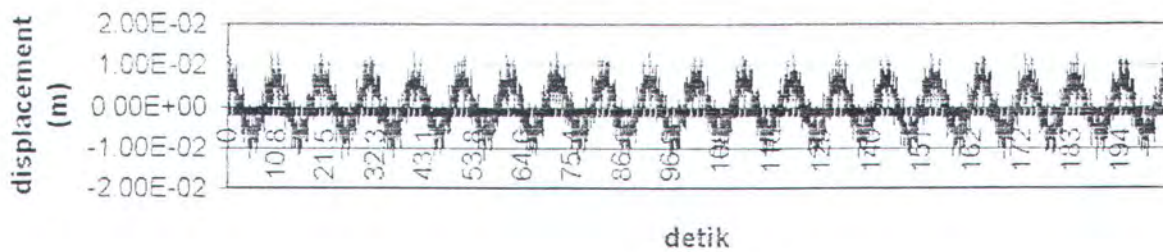

```
k      = 0.019530
lamda  = 321.719903
D/lamda= 0.155415
```

```
frekwensi natural-x coupled= 0.501E+00
frekwensi natural-r coupled= 0.270E+01
max displacment-x coupled = 0.4823E-01
max displacment-r coupled = 0.9416E-03
max displacment-c (puncak)= 0.1019E+00
max displacment-c (dasar)= 0.7696E-02
```

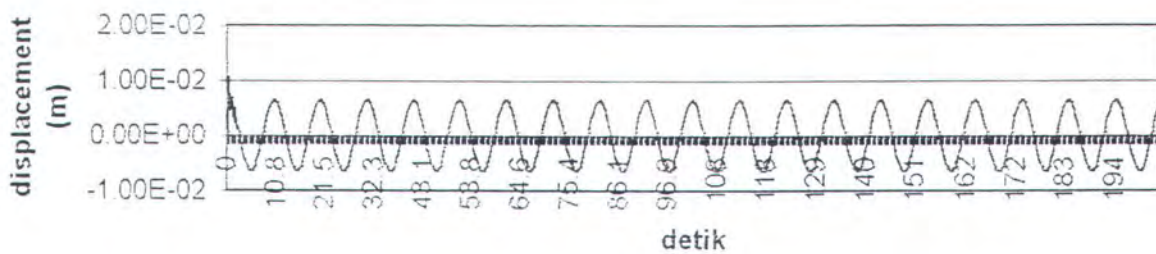
Grafik displacement sliding murni kasus 1



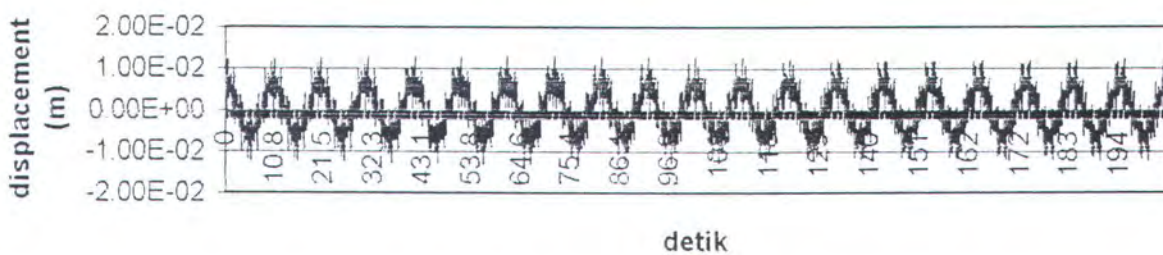
Grafik displacement sliding murni kasus 1 dengan masa efektif tanpa redaman



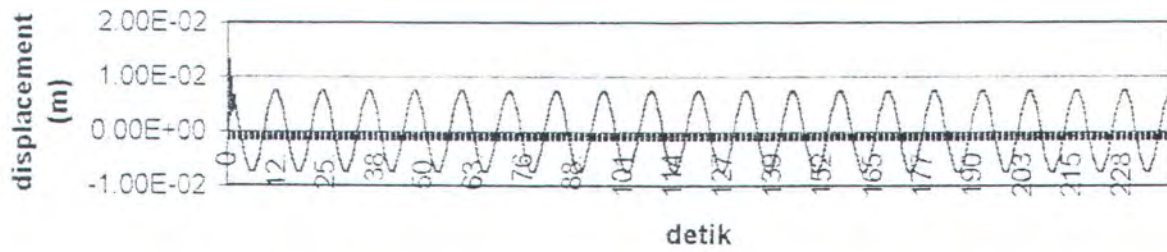
Grafik displacement sliding kasus 1 tanpa masa efektif dengan redaman



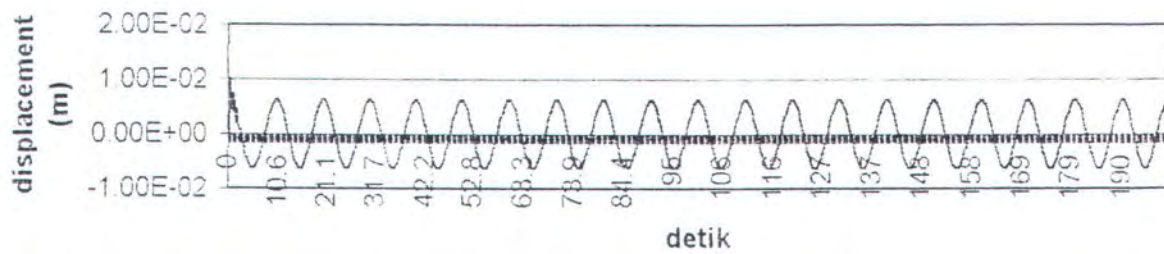
Grafik displacement sliding tanpa masa efektif tanah tanpa redaman



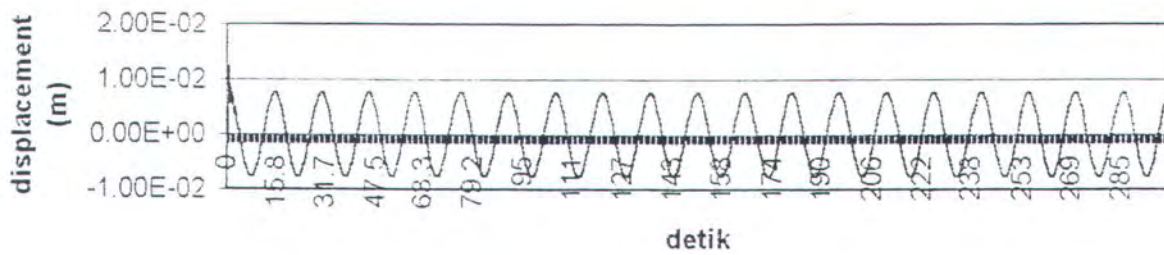
Grafik displacement sliding kasus 1, $T=12$ detik



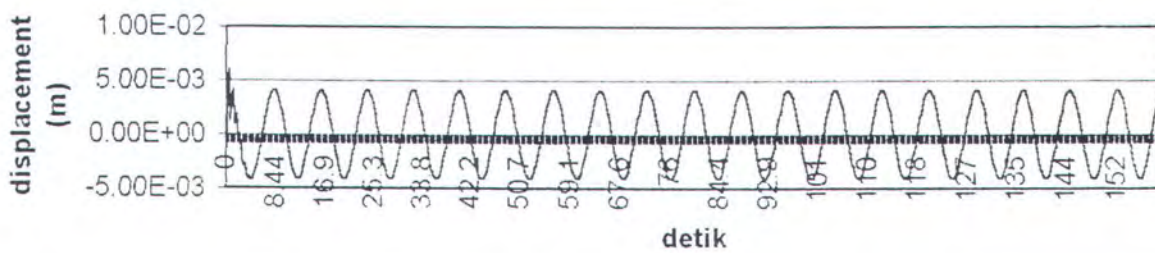
Grafik displacement sliding kasus 1, $T=10$ detik



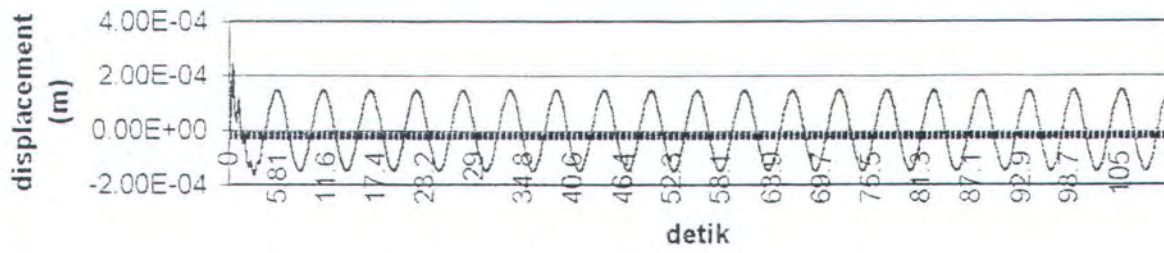
Grafik displacement sliding kasus 1, $T=15$



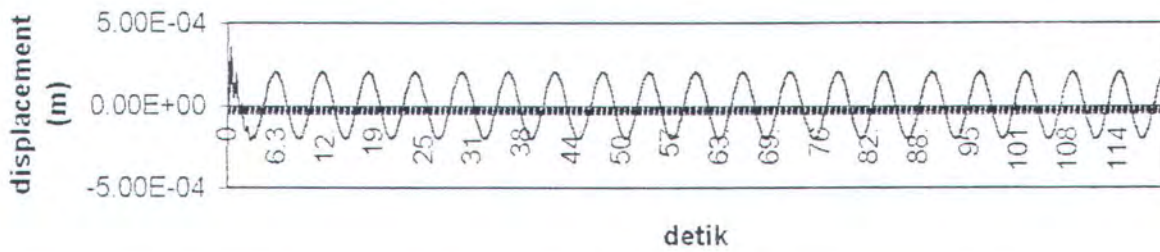
Grafik displacement sliding kasus 1, $T=8$ detik



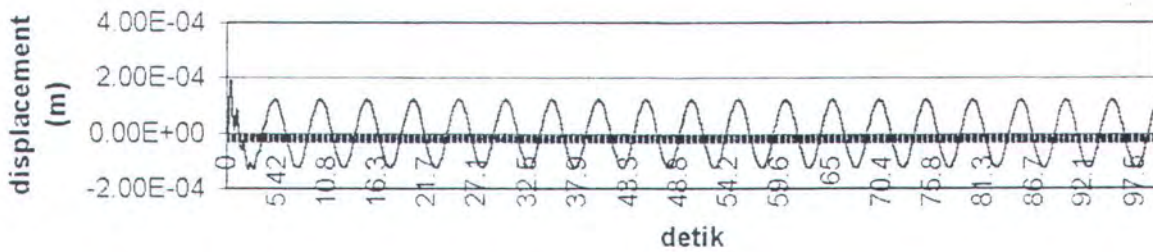
Grafik displacement sliding H=2m, T=5.5 detik



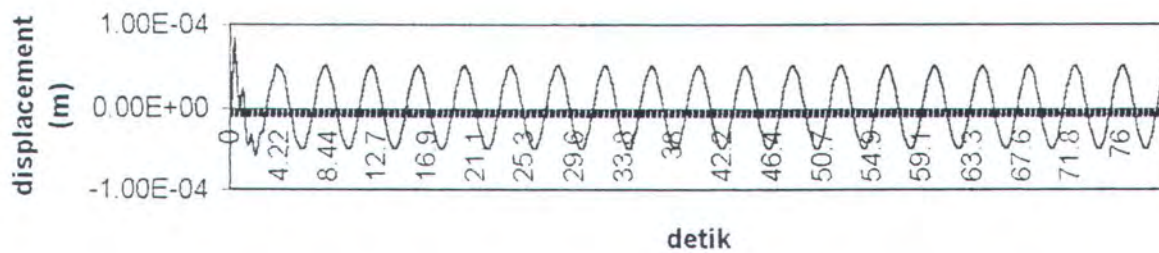
Grafik displacement sliding dengan H=2, T=6



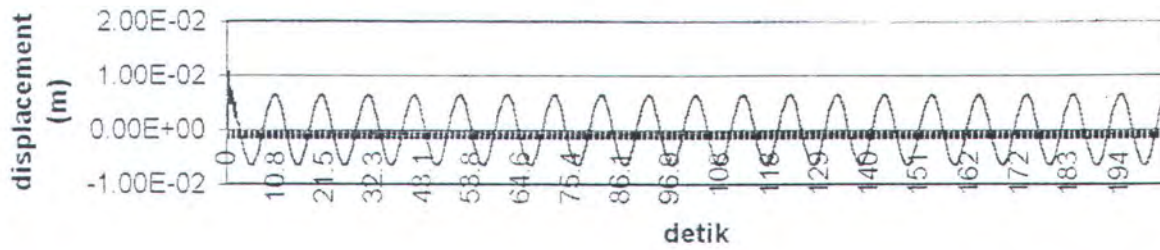
Grafik displacement sliding H=2m T=5 detik



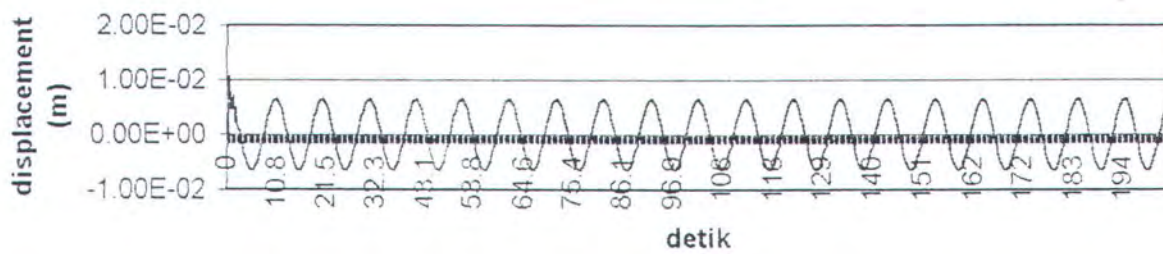
Grafik displacement sliding dengan H=2m, T=4 detik



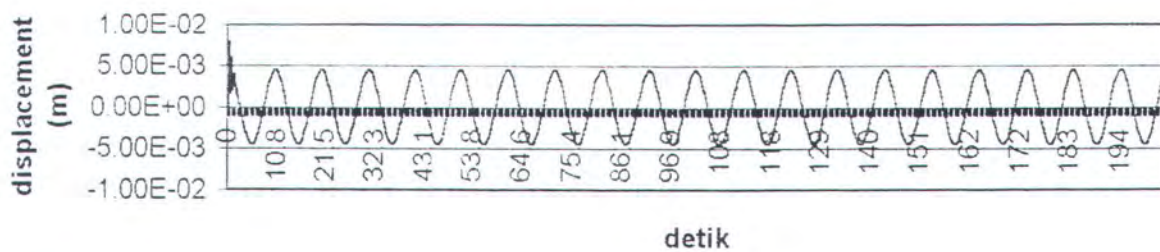
Grafik displacement sliding kasus 1 dengan angka poisson=0.0



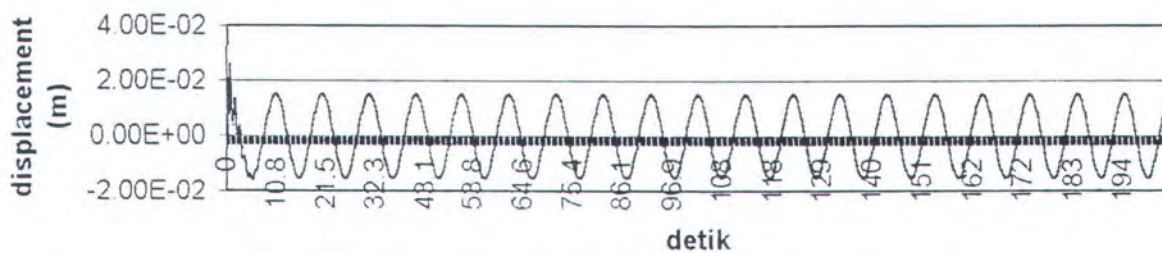
Grafik displacement sliding kasus 1 dengan angka poisson = 0.3



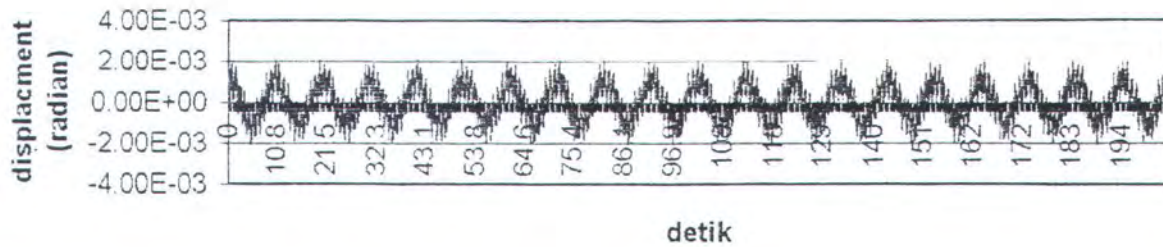
Grafik displacement sliding kasus 1 dengan $C_u = 10^8 \text{ N/m}^3$



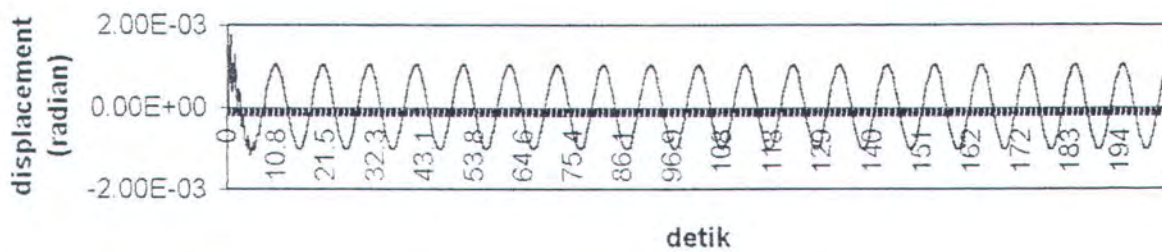
Grafik displacement sliding kasus 1 dengan $C_u = 3 \cdot 10^7 \text{ N/m}^3$



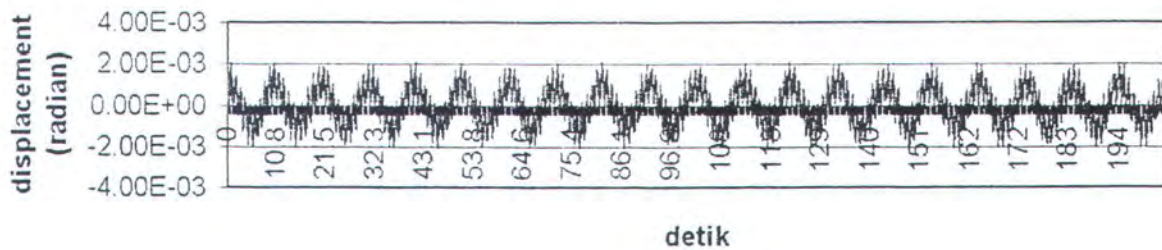
Grafik displacement rocking kasus 1 tanpa masa efektif tanah tanpa redaman



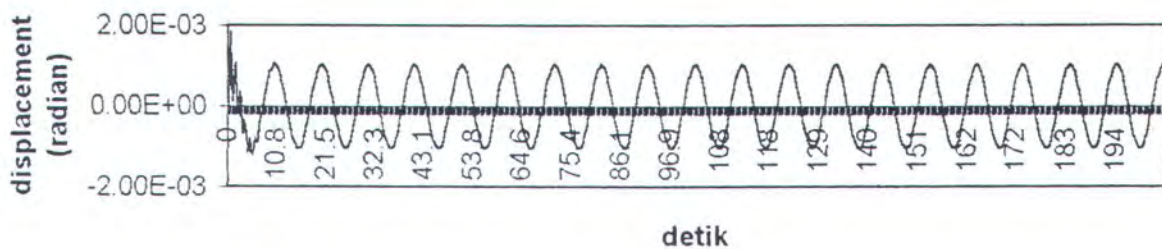
Grafik displacement rocking tanpa masa efektif tanah dengan redaman



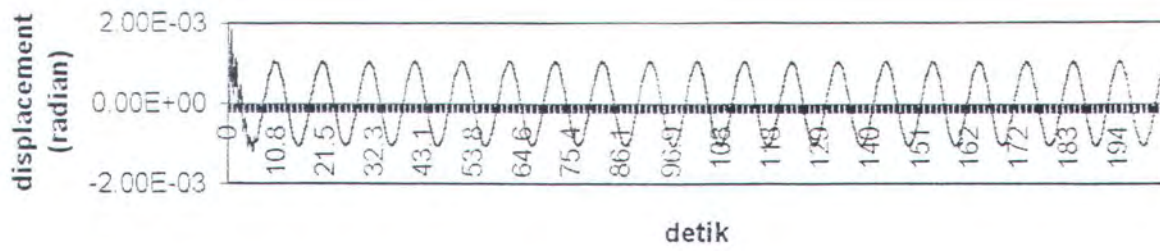
Grafik displacement rocking kasus 1 tanpa redaman



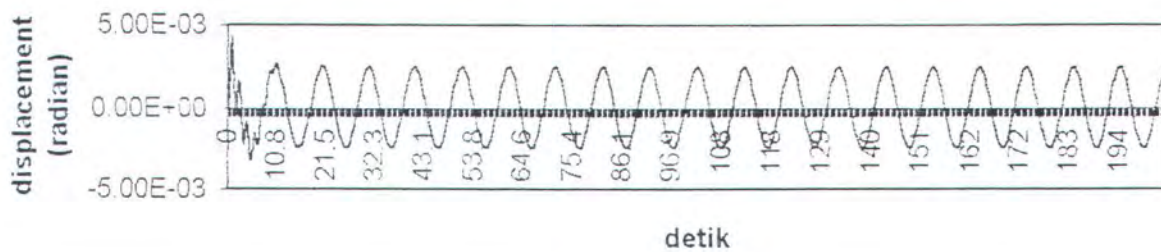
Grafik displacement rocking kasus 1



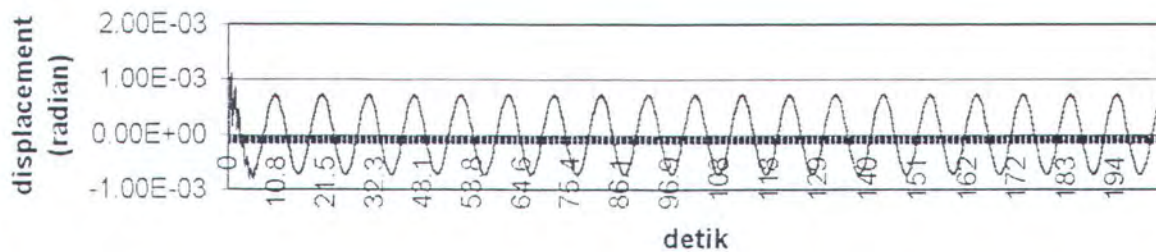
Grafik displacement rocking kasus 1 dengan angka poisson=0



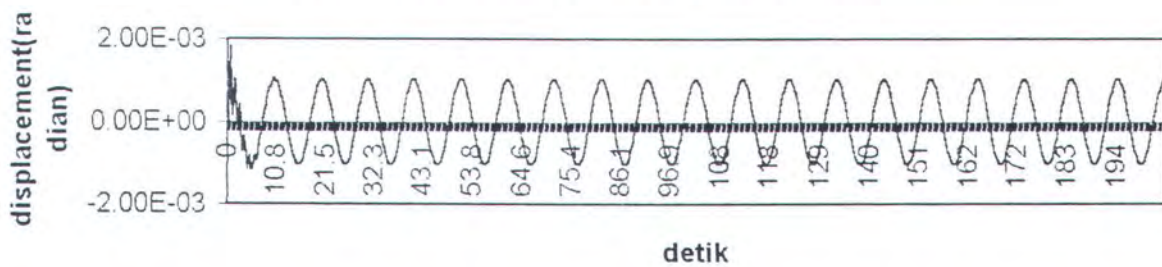
Grafik displacement rocking kasus 1 dengan $C_u = 3 \cdot 10^{17} \text{ N/m}^3$



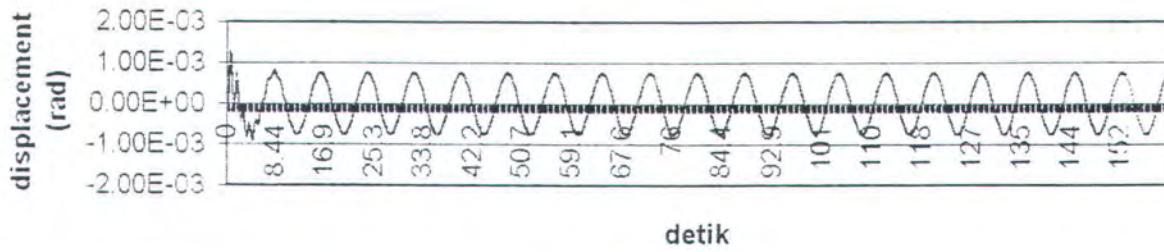
Grafik displacement rocking kasus 1 dengan $C_u = 10^{18} \text{ N/m}^3$



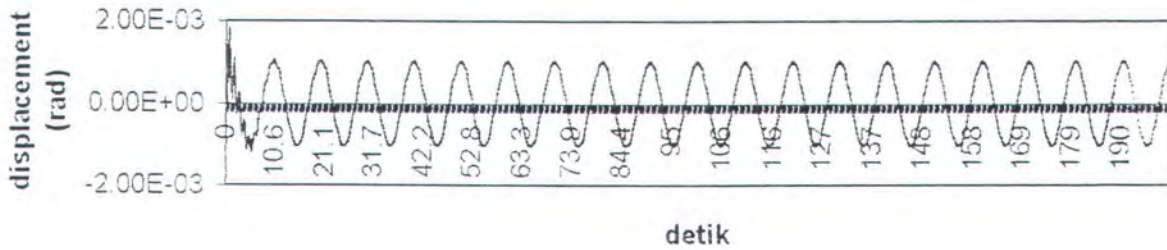
Grafik displacement rocking kasus 1 dengan angka poisson=0.3



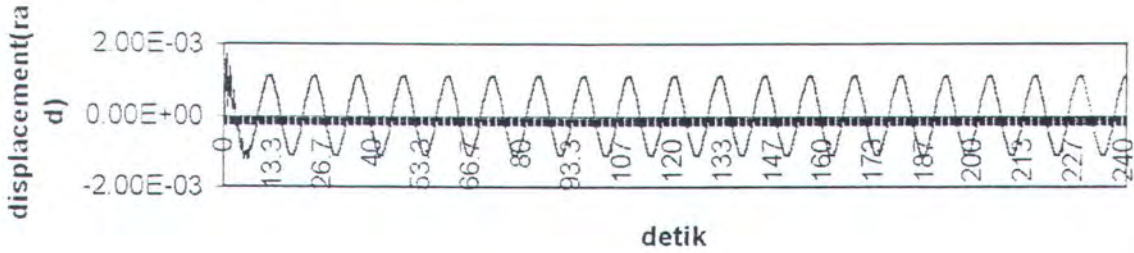
Grafik displacement rocking kasus 1 dengan $T=8$ detik



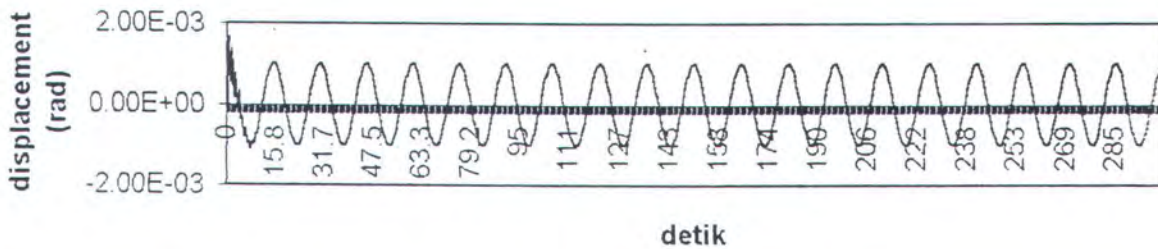
Grafik displacement rocking kasus 1 dengan $T=10$ detik



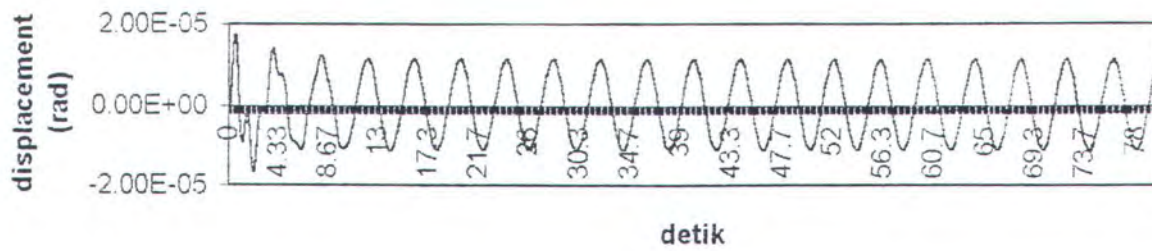
Grafik displacement rocking kasus 1 $T=12$ detik



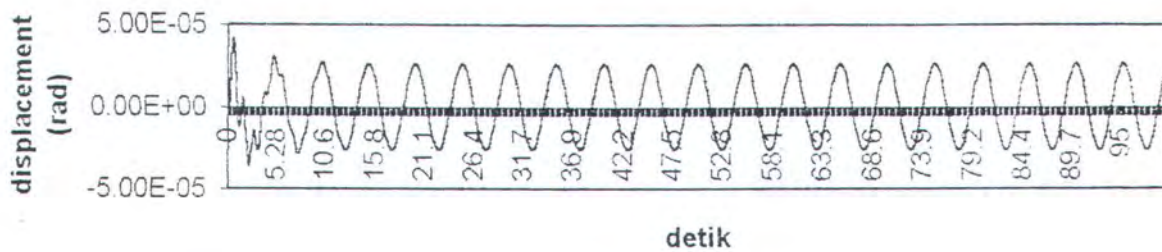
Grafik displacement rocking kasus 1 $T=15$ detik



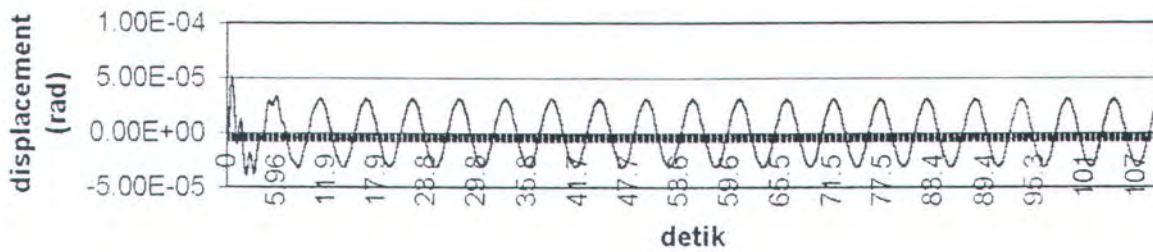
Grafik displacement rocking kasus 1 $H=2m$, $T=4$ detik



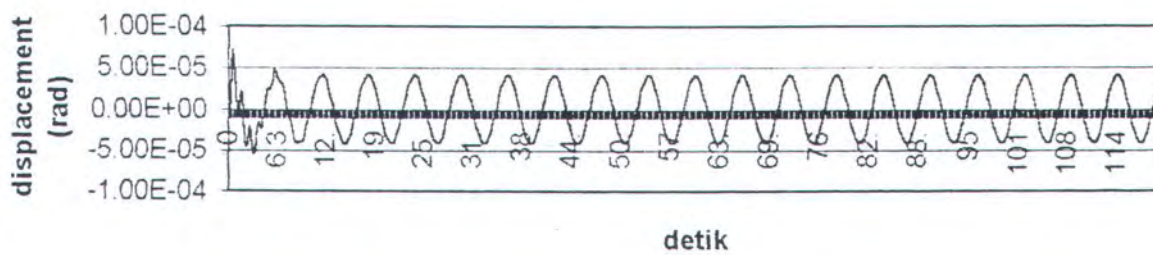
Grafik displacement rocking kasus 1, $H=2m$, $T=5$ detik



Grafik displacement rocking kasus 1 dengan $H=2m$, $T=5.5$ detik



Grafik displacement rocking kasus 1 dengan $H=2m$, $T=6$ detik



Tabel data studi parameter periode H=2m

Periode	Fx (N)	sliding murni (m)	sliding kopel (m)	M(N-m)	rock murni (rad)	rock kopel (rad)	puncak (m)
4	1.68E+06	5.04E-05	3.35E-04	1.28E+08	1.13E-05	6.62E-06	0.0007115
5	4.13E+06	1.23E-04	7.94E-04	3.05E+08	2.62E-05	1.56E-05	0.001685
5.5	5.00E+06	1.48E-04	9.52E-04	3.63E+08	3.10E-05	1.87E-05	0.002018
6	6.93E+06	2.04E-04	1.31E-03	4.92E+08	4.17E-05	2.57E-05	0.002769

Tabel data studi parameter periode H=14.75m

Periode	Fx (N)	sliding murni (m)	sliding kopel (m)	M(N-m)	rock murni (rad)	rock kopel (rad)	puncak (m)
8	1.41E+08	4.14E-03	5.12E-04	9.07E+09	7.59E-04	5.12E-04	0.05535
10	2.15E+08	6.30E-03	7.75E-04	1.23E+10	1.02E-03	7.75E-04	0.08375
12	2.58E+08	7.54E-03	9.24E-04	1.33E+10	1.10E-03	9.24E-04	0.9991
15	2.40E+08	7.71E-03	9.42E-04	1.23E+10	1.02E-03	9.42E-04	0.1019

Tabel data studi parameter koefisien subgrade

Cu (N/m3)	kr (N-m/rad)	kx (N/m)	wn1(hz)	wn2(hz)	sliding murni (m)	sliding kopel (m)	rock murni (rad)	rock kopel (rad)	puncak (m)
3.00E+07	5.22E+12	1.47E+10	3.37E-01	1.78E+00	0.0152	9.68E-02	0.002459	0.001898	0.2049
7.00E+07	1.22E+13	3.45E+10	5.14E-01	2.72E+00	0.006473	4.07E-02	0.001038	0.000796	0.08605
1.00E+08	1.74E+13	4.93E+10	6.14E-01	3.25E+00	0.004525	2.84E-02	0.0007246	0.0005545	0.05997

Tabel data studi parameter angka poison

angka poison	m eff	seth	sliding murni (m)	sliding kopel (m)	inerisa efektif	sith	rock murni (rad)	rock kopel (rad)	wn1(hz)
0.00E+00	1.19E+07	8.63E-02	6.47E-03	4.07E-02	1.25E+10	5.47E-02	1.04E-03	7.95E-04	5.33E-01
3.00E-01	1.40E+07	8.59E-02	6.47E-03	4.07E-02	1.79E+10	5.45E-02	1.04E-03	7.96E-04	5.22E-01
5.00E-01	1.59E+07	8.56E-02	6.47E-03	4.07E-02	2.50E+10	5.43E-02	1.04E-03	7.96E-04	5.14E-01

energi positif dan negatif
mengalir dengan merubah wujud
energi merupakan besaran
dalam wujud semangat
tanpa vektor kebenaran
energi hanyalah kesia-siaan

(blok U, Februari 20, 99)

LAMPIRAN C

Tabel properti modulus elastisitas (Bowles, 1988)

Jenis tanah	Modulus elastisitas (Mpa)
Lempung sangat lunak	2 – 15
Lempung lunak	5 – 25
Lempung sedang	15 – 50
Lempung keras	50 – 100
Lempung berpasir	25 – 250
Lati es lepas	10 – 153
Lati es padat	144 – 720
Lati es sangat padat	478 – 1440
Lati es tanah lius	15 – 60
Pasir berlanau	5 – 20
Pasir lepas	10 – 25
Pasir padat	50 – 81
Pasir dan kerikil lepas	50 – 150
Pasir dan kerikil padat	100 – 200
Serpih	150 – 5000
Lanau	2 – 20

Table 3.12a

Mean soil properties for preliminary designs

The following theoretical values may be used directly in the preliminary structural calculations:

Type of soil	Bulk density		Final strength		Initial strength	Young's modulus
	Above water	Submerged	Angle of internal friction	Cohesion	Undrained shear strength	E_s
	ρ t/m ³	ρ t/m ³	φ or φ' (degrees)	C_r kN/m ²	$C_{u,r}$ kN/m ²	MN/m ²
Non-cohesive soils						
Sand, loose, round	1.8	1.0	30	—	—	20—50
Sand, loose, angular	1.8	1.0	32.5	—	—	40—80
Sand, medium, dense, round	1.9	1.1	32.5	—	—	50—100
Sand, medium dense, angular	1.9	1.1	35	—	—	80—150
Gravel without sand	1.6	1.0	37.5	—	—	100—200
Coarse gravel, sharp edged	1.8	1.1	40	—	—	150—300
Cohesive soils						
Clay, semi-firm	1.9	0.9	25	25	50—100	5—10
Clay, difficult to knead, stiff	1.8	0.8	20	20	25—50	2.5—5
Clay, easy to knead, soft	1.7	0.7	17.5	10	10—25	1—2.5
Boulder clay, solid	2.2	1.2	30	25	200—700	30—100
Loam, semi-firm	2.1	1.1	27.5	10	50—100	5—20
Loam, soft	1.9	0.9	27.5	—	10—25	4—8
Silt	1.8	0.8	27.5	—	10—50	3—10
Soft, slightly clayey sea silt	1.7	0.7	20	10	10—25	2—5
Soft, very strongly clayey sea silt	1.4	0.4	15	15	10—20	0.5—3
Peat	1.1	0.1	15	5	—	0.4—1
Peat under moderate initial loading	1.3	0.3	15	10	—	0.8—2

 φ = Theoretical angle of internal friction in non-cohesive soils φ' = Theoretical effective angle of internal friction in cohesive soils C_r = Theoretical effective cohesion corresponding to φ' $C_{u,r}$ = Theoretical undrained shear strength in water saturated cohesive soils

Source: Recommendations of the Committee for Waterfront Structures

Table 4.1
Parameterization of JONSWAP SPECTRUM
(Houmb and Overvik-Boss '76)

T ₀₂ h	Significant wave height (m)																									First number: Second number: Third number:	Frequency f _m of Maximum Wave Energy (C.P.S)	7 α	14.5- 14.99
	2.0- 2.49	2.5- 2.99	3.0- 3.49	3.5- 3.99	4.0- 4.49	4.5- 4.99	5.0- 5.49	5.5- 5.99	6.0- 6.49	6.5- 6.99	7.0- 7.49	7.5- 7.99	8.0- 8.49	8.5- 8.99	9.0- 9.49	9.5- 9.99	10.0- 10.49	10.5- 10.99	11.0- 11.49	11.5- 11.99	12.0- 12.49	12.5- 12.99	13.0- 13.49	13.5- 13.99	14.0- 14.49				
4.0- 4.99	5.400 0.0138 0.1800	5.970 0.0201 0.1810	6.330 0.0277 0.1820	6.600 0.0359 0.1830	6.890 0.0485 0.1850																								
5.0- 5.99	4.130 0.0064 0.1400	4.910 0.0094 0.1460	5.400 0.0129 0.1470	5.770 0.0171 0.1480	6.070 0.0219 0.1490	6.290 0.0267 0.1490	6.490 0.0323 0.1490	6.680 0.0390 0.1500	6.830 0.0455 0.1500	6.960 0.0523 0.1500																			
6.0- 6.99	1.260 0.0036 0.1110	3.370 0.0051 0.1200	4.280 0.0069 0.1220	4.860 0.0092 0.1240	5.210 0.0113 0.1240	5.530 0.0142 0.1250	5.770 0.0170 0.1250	5.840 0.0180 0.1260	6.170 0.0239 0.1260	6.320 0.0274 0.1260	6.490 0.0323 0.1270	6.610 0.0363 0.1270	6.730 0.0410 0.1270	6.870 0.0475 0.1280	6.960 0.0523 0.1280														
7.0- 7.99	1.090 0.0032 0.0960	1.650 0.0042 0.0980	3.670 0.0055 0.0980	4.240 0.0067 0.1050	4.600 0.0083 0.1060	4.890 0.0102 0.1070	5.040 0.0119 0.1080	5.280 0.0138 0.1080	5.490 0.0158 0.1090	5.540 0.0174 0.1090	5.870 0.0210 0.1090	6.020 0.0235 0.1090	6.150 0.0269 0.1090	6.300 0.0309 0.1100	6.410 0.0359 0.1100	6.510 0.0410 0.1100	6.600 0.0460 0.1100	6.690 0.0520 0.1100	6.770 0.0570 0.1100	6.880 0.0630 0.1110	6.960 0.0680 0.1110								
8.0- 8.99				1.210 0.0035 0.0850	1.960 0.0044 0.0880	3.460 0.0052 0.0920	4.040 0.0062 0.0930	4.460 0.0074 0.0940	4.800 0.0088 0.0950	5.020 0.0100 0.0950	5.220 0.0114 0.0950	5.440 0.0133 0.0950	5.590 0.0148 0.0960	5.730 0.0165 0.0960	5.850 0.0182 0.0960	5.960 0.0199 0.0960	6.110 0.0227 0.0970	6.210 0.0248 0.0970	6.300 0.0269 0.0970	6.380 0.0290 0.0970	6.470 0.0316 0.0970	6.540 0.0339 0.0970	6.610 0.0363 0.0970	6.680 0.0390 0.0970	6.750 0.0419 0.0970	6.840 0.0460 0.0980			
9.0- 9.99					1.000 0.0029 0.0750	1.230 0.0036 0.0760	1.770 0.0043 0.0780	3.230 0.0050 0.0800	3.810 0.0058 0.0830	4.230 0.0067 0.0840	4.480 0.0075 0.0840	4.770 0.0087 0.0850	4.960 0.0097 0.0850	5.120 0.0107 0.0850	5.330 0.0123 0.0850	5.470 0.0136 0.0860	5.580 0.0147 0.0860	5.690 0.0160 0.0860	5.800 0.0175 0.0860	5.890 0.0188 0.0860	5.980 0.0202 0.0860	6.110 0.0227 0.0870	6.190 0.0244 0.0870	6.270 0.0261 0.0870	6.340 0.0280 0.0870	6.410 0.0299 0.0870			
10.0- 10.99							1.020 0.0030 0.0680	1.230 0.0036 0.0690	1.560 0.0041 0.0700	2.700 0.0047 0.0730	3.220 0.0050 0.0740	3.650 0.0055 0.0750	4.230 0.0067 0.0760	4.440 0.0074 0.0760	4.710 0.0084 0.0770	4.870 0.0092 0.0770	5.010 0.0100 0.0770	5.150 0.0109 0.0770	5.260 0.0117 0.0770	5.420 0.0132 0.0780	5.540 0.0143 0.0780	5.640 0.0154 0.0780	5.730 0.0165 0.0780	5.810 0.0176 0.0780	5.880 0.0186 0.0780	5.960 0.0199 0.0780			
11.0- 11.99									1.010 0.0029 0.0620	1.180 0.0035 0.0630	1.450 0.0040 0.0640	1.920 0.0044 0.0650	2.330 0.0048 0.0670	3.500 0.0053 0.0680	3.310 0.0060 0.0690	4.130 0.0064 0.0690	4.380 0.0070 0.0700	4.580 0.0079 0.0700	4.730 0.0085 0.0700	4.870 0.0092 0.0700	4.970 0.0098 0.0700	5.110 0.0106 0.0700	5.230 0.0114 0.0700	5.360 0.0126 0.0700	5.480 0.0136 0.0710	5.540 0.0143 0.0710			
12.0- 12.99													1.260 0.0036 0.0580	1.540 0.0041 0.0590	2.050 0.0045 0.0600	3.070 0.0048 0.0620	3.450 0.0052 0.0630	3.760 0.0057 0.0630	4.000 0.0061 0.0640	4.270 0.0068 0.0640	4.420 0.0073 0.0640	4.550 0.0078 0.0640	4.650 0.0082 0.0640	4.950 0.0099 0.0650	5.090 0.0105 0.0650				
13.0- 13.99														1.040 0.0030 0.0530	1.140 0.0034 0.0540	1.320 0.0038 0.0540	1.680 0.0043 0.0550	2.150 0.0045 0.0560	2.830 0.0047 0.0570	3.360 0.0051 0.0580	3.710 0.0056 0.0580	3.920 0.0060 0.0590	4.100 0.0064 0.0590	4.250 0.0068 0.0590	4.300 0.0070 0.0590				
14.0- 14.99																	1.190 0.0035 0.0500	2.030 0.0042 0.0500	2.670 0.0047 0.0510	3.120 0.0052 0.0510	3.440 0.0057 0.0510	3.650 0.0061 0.0510	3.780 0.0064 0.0510	3.850 0.0067 0.0510	3.900 0.0069 0.0510				
15.0- 15.99																										2.900 0.0048 0.0500			



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN**

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5928105, 5994251-5 Psw. 1104-7 Telex 34224 Fax 5947254

TUGAS AKHIR (OE.1701)

No. 156/PT12.FTK4.H8/Q/98

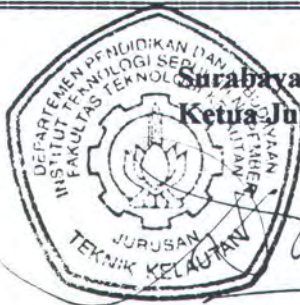
MATA KULIAH	:	TUGAS AKHIR
NOMOR MATA KULIAH	:	OE.1701
NAMA MAHASISWA	:	Agung Sarjono Budi
NOMOR POKOK	:	4393 100 010
TGL.DIBERIKAN TUGAS	:	13 Oktober 1998
TGL.SELESAINYA TUGAS	:	13 April 1999
DOSEN PEMBIMBING	:	1. Dr.Ir. Eko Budi Djatmiko,MSc
		2. Dr.Ir. Prijo Suprobo,MSc

THEMA/URAIAN/DATA-DATA YANG DIBERIKAN/JUDUL TUGAS AKHIR

**ANALISA DINAMIS TERHADAP INTERAKSI SISTEM FLUIDA-STRUKTUR-TANAH
PADA STRUKTUR GRAVITASI BERBENTUK SILINDER TEGAK AKIBAT BEBAN
GELOMBANG**

DIBUAT RANGKAP 4 :

- 1. Mahasiswa ybs.**
- 2. Dekan FTK-ITS**
- 3. Dosen Pembimbing**
- 4. Arsip Jurusan**



Surabaya, 13 Oktober 1998
Ketua Jurusan ;

Dr.Ir. Eko Budi Djatmiko,MSc
NIP. 131 407 592



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5947254, 597274 psw. 144 Telex 34224 Fax 5947254

FORMULIR EVALUASI KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Kami, dosen pembimbing Tugas Akhir dari mahasiswa :

Nama : Agung Sa'jiu
NRP : 4393.100.010
Judul TA : Analisa Dinamis Terhadap
Sistem Fluida - Gas - Cair - Tanah
pada Struktur Statika Berbeban
Silinder Tegak Akibat Beban
Selambut

Setelah mempertimbangkan butir-butir berikut :

- Keaktifan mahasiswa dalam mengadakan asistensi.
- Proporsi Materi TA yang telah diselesaikan sampai saat ini.
- Prospek penyelesaian TA dalam jangka waktu yang relevan.
- Masa Studi yang tersisa.

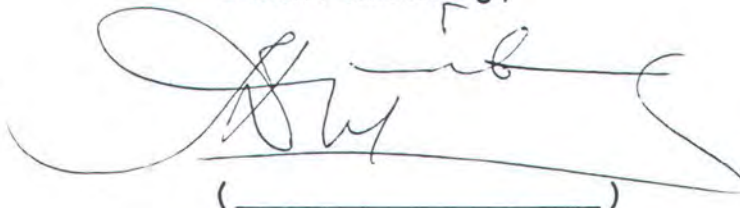
Dengan ini kami mengusulkan agar TA mahasiswa tersebut diputuskan untuk :

- ☐ Dibatalkan keseluruhannya dan mengajukan judul baru
- ☐ Diperkenankan menyelesaikan tanpa perubahan
- ☒ Diperkenankan mengikuti Ujian Tugas Akhir dengan Judul :

Sda

Selanjutnya mahasiswa diatas diharuskan untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhirnya dan dapat mengikuti ujian Tugas Akhir untuk Wisuda 19....



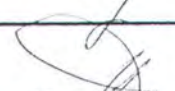

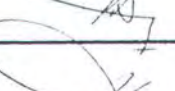



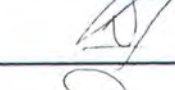
Surabaya, 8 Feb 1999
Dosen Pembimbing ;


()

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Agung Supriatna
 NOMOR POKOK / NRP : 4392 100 010
 NAMA DOSEN PEMBIMBING : Dr. E.B. Dittmiller / Dr. P. Surobo
 TUGAS DIMULAI : 31 Maret 1998
 DISELESAIKAN : 6 Februari 1998
 JUDUL TUGAS AKHIR : Analisis Dinamis Terhadap Interaksi
 Sistem Fluida Struktur + Tanah pada Struktur Gantung
 Berbentuk Silinder Tegak Akibat Gempa Gelombang

NO	TANGGAL	KONSULTASI MENGENAI	TANDA TANGAN DOSEN PEMBIMBING
1	22/10/98	- Pembahasan lingkup TA	
2	11/11/98	- Penjelasan / formula model 2D	
3	26/11/98	- Cek kembali program	
4	30/11/98	- Perbaikan program perhit	
5	4/12/98	- 2 tentukan studi parameter - Cek hasil perhit	
6	8/12/98	- Tentukan parameter gel & tunda & alur analisis	
7	29/12/98	- Mulai penulisan lap TA cek bab 1 & 2	
8	14/1/99	- Revisi penulisan lap TA	
9	5/2/99	- Revisi kompulan & daftar isi	

CATATAN : LEMBAR PRESENSI INI HARUS DITUNJUKKAN PADA SAAT UJIAN TUGAS AKHIR.